F1509/EN

R

48. 1986.

BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC BUCUREȘTI

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM KÖNYVTÁRA 1848 1988-03-30

SERIA ENERGETICĂ

TOMUL XLVIII 1986

COMITETUL DE REDACȚIE

REDACTOR RESPONSABIL: Prof. dr. ing. *Voicu Tache*
MEMBRII: Prof. dr. ing. *Constantin Bălă*; Conf. dr. ing. *Cornel Berbente*; Prof. dr. docent *Gheorghe Buzdugan*, membru corespondent al Academiei R. S. România; Prof. dr. ing. *Ioan Carabogdan*; Prof. dr. ing. *Sergiu Călin* (secretar științific); Prof. dr. docent *Virgil Constantinescu*; Prof. dr. docent *Felicia Cornea*; Prof. dr. ing. *Alexandru Dănescu*; Prof. dr. docent *Traian Demian* (redactor responsabil adjunct); Prof. dr. ing. *Octavian Floarea*; Prof. dr. ing. *Julieta Florea*; Prof. dr. ing. *Nicolae Geru*; Prof. dr. ing. *Berthold Grünwald*; Prof. dr. *Ion Grădișteanu*; Prof. dr. ing. *Gheorghe Hortopan*; Prof. dr. ing. *Moise Ienciu*; Prof. dr. ing. *Vlad Ionescu*; Prof. dr. ing. *Adelaida Mateescu*; Prof. ing. *Jean Moncea*; Prof. dr. ing. *Nicolae Murguleț*; Prof. dr. docent *Florea Oprea*; Prof. dr. ing. *Aurel Oprean*; Prof. dr. ing. *Mircea Petrescu*; Prof. dr. ing. *Ion Popescu*; Conf. dr. ing. *Mircea Radeș*; Conf. dr. ing. *Sorin Roșca*; Prof. dr. ing. *George Rulea*; Prof. dr. ing. *Marcel Segărceanu*; Prof. dr. ing. *Alexandru Spătaru*; Prof. dr. *Octavian Stănășilă*; Prof. dr. docent *Ion Teoreanu*; Prof. dr. docent *Andrei Țugulea*; Prof. dr. ing. *Silvia Vacu*; Prof. dr. docent *Rodica Vilcu*; Academician *Radu Voinea*.

Editor: Institutul Politehnic București
Splaiul Independenței 313, Tel. 31.40.10. România, Căsuța poștală 2356

Readers from abroad can get subscriptions for this newspaper through ROMPRESFILATELIA, Import export press, P.O. Box 12-201, Telex 10378, Calea Griviței 62—64, Bucharest, ROMANIA

Sumar

C. Stănăşilă, O. Stănăşilă

Unele consideraţii privind transferul de căldură între gaze 3

Elena Tănăsescu

Teoria construirii şi calculării unui model de atmosferă stelară, factor esenţial în investigarea surselor de energie cosmică 11

I. S. Antoniu, I. N. Chiuţă, D. R. Gheorghiade

O metodă pentru determinarea indicatorilor de calitate a energiei electrice . . . 27

A. Carabulea

Proiectarea organizării sistemelor de energie 35

P. Roman, D. Maiorescu, R. Pretorian

Optimizarea reţelelor ramificate şi buclate de hidrotransport al cărbunelui cu aplicaţie la bazinele miniere Motru şi Rovinari 53

S. Iliescu, D. Mihoc, A. Ungureanu

Consideraţii privind utilizarea echipamentelor numerice româneşti în conducerea staţiilor electrice 71

Lucia Dumitriu, C. Dumitriu

Sistem de programe de calcul pentru determinarea regimurilor termice maxim admisibile în funcţionarea de lungă durată a reţelelor electrice în cablu . . . 77

Mihaela Iordache

Un model pentru estimarea comportării motoarelor electrice asincrone supuse unor variaţii aleatoare de frecvenţă şi tensiune 85

I. Cristea

Consideraţii privind răspîndirea în spaţiul terestru a agenţilor poluanţi 95

1509

Summary

C. Stănăşilă, O. Stănăşilă

Some Considerations on the Heat Transfer between Gases 3

Elena Tănăsescu

Theory of Construction and Calculation of a Star Atmosphere Model 11

I. S. Antoniu, I. Chiuţă, D. Gheorghiade

A New Method for Determining Quality Indicators of Electrical Power 27

A. Carabulea

Design of Energy System Organization 35

P. Roman, D. Maiorescu, R. Pretorian

Optimization of the Networks for the Coal Hydraulic Transport 53

S. Iliescu, D. Mihoc, A. Ungureanu

Considerations about Roumanian Digital Equipments Used in Electrical Power Stations Control 71

Lucia Dumitriu, C. Dumitriu

A Set of Programs Conception for the Steady-State of the Cable Networks in Maximum Heating Conditions 77

Mihaela Iordache

A Mathematical Model for Estimation of the Behaviour of Induction Motors in the Presence of Voltage and Frequence Random Variations 85

I. Cristea

Considerations Regarding the Pollution Agents 95

C.Z.: 517.93
536.23

UNELE CONSIDERAȚII PRIVIND TRANSFERUL DE CĂLDURĂ ÎNTRE GAZE

C. STĂNĂȘILĂ, O. STĂNĂȘILĂ

Diferențele temperaturilor agenților termici gazoși în schimbătoarele de căldură în care se dorește valorificarea avantajoasă a gazelor cu temperaturi între 40° și 120°C sînt încă prea mari. În lucrare este descris un schimbător ceramic regenerativ a cărui eficiență economică rezultă în primul rînd din umplutura regenerativă ieftină, prin utilizarea betonului. Sînt prezentate totodată modelul matematic liniar al proceselor de transfer de căldură și sînt date exemple de calcul.

Complexitatea proceselor termice industriale a impus o mare diversitate de schimbătoare de căldură. Diferențele tehnico economice medii Δt dintre temperaturile agenților termici gazoși continuă să fie mari pentru valorificarea avantajoasă a gazelor cu temperaturi de 40° ... ... 120°C, cu consecințe nefavorabile pentru randamentele energetice și exergetice ale schimbului de căldură dintre gaze, ca și pentru economia tehnologiilor respective în ansamblu.

Prin ICPMC București am inițiat și finalizat un schimbător ceramic regenerativ, a cărui particularitate esențială pentru eficiența sa economică o constituie umplutura regenerativă deosebit de ieftină, din blocuri ceramice din argilă comună, realizabile de oricare fabrică de cărămizi pentru zidării obișnuite, la care se înlocuiește filiera (valoare modestă). Acest schimbător, aplicat deja la 12 cuptoare de ars cărămizi, încălzește cîte 20000 m_n^3/h aer de la 20 la 100°C cu gaze de ardere răcite util de la 120 la 40°C, economisind cîte 400 tcc/an, (în total 4800 tcc/an = 140GJ) cu un preț de revenire al tonei de combustibil convențional de 600 lei (circa 74 lei/MWh). Pierderea de presiune nu depășește 20 mm col. apă (pentru fiecare agent). Schimbătorul a fost aplicat și la valorificarea de gaze umede cu numai 50°C, încălzind 50000 m_n^3/h aer de la 10 la 40°C, cu circa 1000 lei/tcc economisită. Blocurile ceramice din argile corespunzătoare au o stabilitate fizică bună pînă la 1000°C, fapt ce lărgește considerabil domeniul de folosire al schimbătorului, pînă la crearea unuia superior, care să înlăture sau cel puțin să atenueze dezavantajele pe care le are :

— alternarea sensului de parcurgere a celor două compartimente de către fiecare din cei doi agenți termici (două distribuitoare cu clapete comandate de o instalație relativ complicată);

* Dr. ing. — ICPMC, lab. energetică industrială; Prof. dr., catedra Matematică II

— amestecarea parţială a agenţilor termici (2...3%);

— înlocuirea periodică a încărcăturii regenerative, dacă unul sau ambii agenţi antrenează substanţe care se pot depune şi acumula;

— necesitatea unei suprafeţe construite relativ mari;

— investiţia încă mare; este cel mai ieftin schimbător gaz-gaz cunoscut, dar costul unei unităţi a mărimii $Q/\Delta t = S \cdot k$ (Q = fluxul schimbat = sarcina termică, S = suprafaţa de schimb şi k = coeficientul global de transfer de căldură), unul dintre criteriile principale de evaluare a eficienţei economice, deşi de 3 . . 4 ori mai mic, decît al schimbătoarelor care s-ar fi adoptat în lipsa lui, este încă mare de 25 . . .30 lei K/W (inclusiv ventilatoarele şi racordurile).

Schimbătorul pe care îl propunem reduce în măsură considerabilă toate dezavantajele menţioante. Soluţia adoptată poate să surprindă pentru că betonul, de exemplu, nu a fost niciodată considerat ca material adecvat, şi încă deosebit de avantajos, pentru un schimbător de căldură gaz-gaz, de tip recuperativ (şi regenerativ, dar cu dezavantajele indicate anterior), utilizabil de la temperaturi cuprinse între foarte joase şi foarte înalte, limitele (provizorii, desigur) fiind determinate de materialele disponibile, fasonabile prin turnare, sau chiar prin extrudere, perforare etc.

În cazul gazelor, coeficienţii totali de schimb superficial de căldură prin convecţie („transmisivităţile termice") au valori economice pînă la 25 . . .40 W/m²K, în timp ce echivalentul lor în conducţia căldurii printr-un perete de beton gros de 10 . . .20 mm (nu va fi necesar mai mult) este aproximativ 100 W/m²K; în raport cu cel mai conductiv perete de separare a celor doi agenţi, acelaşi transfer de căldură s-ar obţine cu o suplimentare de numai 10...20% a suprafeţei schimbătorului din beton. Dar dacă un perete metalic din oţel banal necesită cel puţin 400 lei/m², cel din beton poate fi realizat cu numai 30 lei/m². Ţinînd seama de sporul de suprafaţă, betonul permite reducerea la 10% a cheltuielilor de investiţie; cele de întreţinere şi de exploatare pledează de asemenea în favoarea betonului, un material fiabil, adoptabil şi la unele gaze corosive pentru oţel. În cazul temperaturilor înalte, de 1200 . . .1300°C, dezavantajele schimbătoarelor ceramice regenerative (în prezent, cele mai avantajoase pentru aceste temperaturi) le pun într-o evidentă inferioritate tehnică şi economică în raport cu schimbătoarele recuperative din beton refractar, printre altele şi datorită regimului termic nestaţionar, care implică necesitatea unor baterii de cîte 3 . . 5 cowpere de exemplu, costisitoare, cu comenzi şi automatizări complicate, care să asigure constanţa temperaturii aerului fierbinte.

Într-un masiv de beton, paralelipipedic, vertical, se formează din turnare canale verticale, dispuse ordonat; un agent termic circulă prin şiruri de canale care alternează cu şirurile de canale prin care circulă celălalt agent în contracurent. La capetele schimbătorului, toate canalele aferente fiecăruia din cele două gaze sînt continuate prin canale orizontale pînă la cîte una din feţele laterale opuse şi racordate la cîte un distribuitor, respectiv colector, prin intermediul cărora schimbătorul de căldură se leagă funcţional cu producătorul şi consumatorul agenţilor încălzitor şi încălzit. Pe fiecare faţă a unei perechi de feţe opuse se află deci distribuitorul unui gaz şi colectorul celuilalt, unul jos şi altul sus, la nivelurile extreme ale masivului de beton.

Eforturile mecanice unitare rezultate din împiedicarea liberei dilatări termice a betonului nu depășesc limitele admisibile, dacă amplitudinea temperaturii variabile alternative în plan orizontal, transversal pe șirurile de canale, nu depășește 25 . . 40 K; acestei amplitudini îi corespunde o diferență Δt între temperaturile agenților termici de peste 200 K, valoare cu mult mai mare decît cele care se vor întîlni la schimbătoarele de tipul propus.

Pentru simplificarea execuției schimbătoarelor, acestea se vor realiza prin legarea în paralel a mai multor unități-modul cu secțiunea de circa 800 × 800 mm (de exemplu), distanțate între ele din motive constructive și grupate în interiorul unei carcase (în majoritatea situațiilor, construcție cu 4 pereți plani, verticali, din beton armat), pe toată înălțimea schimbătorului. Între module, precum și între module și carcasă, se toarnă, după caz, beton ușor termoizolant, eventual refractar, BIP, BIS sau BIG.

În cele mai multe aplicații, înălțimea masivului de beton nu va depăși 15 m; pentru situațiile speciale în care s-ar ajunge la 60 m, solicitarea la compresie a betonului va fi sub 30 daN/cm^2, valoare modestă, chiar și pentru betoane slabe.

Permeabilitatea la gaze a betonului poate fi practic nulă, excluzînd schimbul de mase între agenți chiar la diferențe de presiuni de cîțiva bari, cum ar putea fi cazul la unele încălzitoare de aer (de exemplu, la cowperele furnalelor mari). În asemenea situații, carcasa schimbătorului va fi însă metalică, cilindrică, etanșă și cu presiunea interioară cît a agentului termic mai comprimat, pentru ca solicitările mecanice în beton să fie numai de compresie, nu și de întindere.

Folosirea betonului ca material de construcție pentru schimbătoare de căldură presupune o tehnologie adecvată de realizare a numeroaselor goluri verticale, separate prin pereți neobișnuit de subțiri. Avem în vedere două posibilități: una, mai scumpă pentru unicate mai mici, cu cofraje „pierdute" (din tuburi IP, ca cele folosite la instalațiile electrice, de exemplu), eventual arse ulterior prin trecerea unui flux de gaze oxidante suficient de fierbinți și alta, mai potrivită pentru execuția de schimbătoare mari și multe, cu tuburi — cofraj glisante. Acestea au particularitatea de a avea o anumită secțiune transversală cînd sînt cofrajele între care se toarnă betonul și, în urma unei acționări de la partea lor superioară după întărirea betonului, o secțiune mai mică, redusă bidirecțional, în vederea unor solicitări practic nule ale betonului întărit în timpul decofrării și al ridicării (glisării) tuturor tuburilor — cofraj pentru organizarea unei noi turnări de beton. Toate tuburile sînt ghidate la partea superioară de o „placă tubulară", iar la partea inferioară de însele canalele deja realizate (în care mai pătrund 10 . . . 15 cm). Vibrarea corectă a betonului realizat cu agregate sub 3 mm, asigură compactarea de bună calitate, utilă pentru creșterea rezistenței betonului și a impermeabilității lui.

Am stabilit mai multe variante de asemenea cofraje-tubulare, cu secțiunea circulară sau pătrată (cu muchii rotunjite) dar, considerîndu-le neesențiale pentru schimbătorul recuperativ propus, nu le prezentăm în acest articol. Menționăm numai că un asemenea tub, lung de 1 m, apt pentru canalele de 20 × 20 mm, va avea 5 kg, va costa circa 200 lei/buc și va participa cu circa 500 lei/m^3 beton, prin refolosiri repetate. În cazul schimbătoarelor recuperative orizontale, se va folosi un mortar de ciment

armat cu tocătură de sîrme subţiri (0,5 mm diametru, 3—4 mm lungime), iar canalele vor avea secţiuni dreptunghiulare alungite pe verticală, realizate cu cofraje de exemplu din polistiren expandat acoperit cu folii subţiri din polietilenă, care se vor elimina prin diferite mijloace.

Pentru simplificarea calculelor, admitem că temperatura θ este uniformă pe toată lăţimea nervurii respective, variind numai cu x (sau y); v. figura 1.

Pe unitatea de înălţime a două sferturi de canale vecine, putem scrie :

$$\alpha(t_1 - \theta_1) \cdot 1 \cdot dx = \frac{d}{dx}\left(-\lambda \frac{d\theta_1}{dx}\right)\frac{b}{2} \cdot 1 \cdot dx,$$

deci

$$\frac{d^2\theta_1}{dx^2} - \frac{2\alpha_1}{\lambda b}(\theta_1 - t_1) = 0,$$

de unde

$$\theta_1 = t_1 + A_1 e^{a_1 x} + B_1 e^{-a_1 x}, \text{ cu } a_1 = \left(\frac{2\alpha_1}{\lambda \cdot b}\right)^{1/2} \text{ iar} \qquad (1)$$

A_1, B_1 sînt constante arbitrare. Pe de altă aparte,

$$\alpha_1(\theta_2 - t_2) = -\frac{d}{dy}\left(-\lambda \frac{d\theta_2}{dy}\right)\frac{b}{2}, \quad \frac{d^2\theta_2}{dy^2} - \frac{2\alpha_2}{\lambda b}(\theta_2 - t_2) = 0,$$

de unde

$$\theta_2 = t_2 + A_2 e^{a_2 y} + B_2 e^{-a_2 y}, \text{ cu } a_2 = \left(\frac{2\alpha_2}{\lambda \cdot b}\right)^{1/2} \qquad (2)$$

Simetria implică $\left.\frac{d\theta_1}{dx}\right|_{x=\frac{L}{2}} = 0$; $\left.\frac{d\theta_2}{dy}\right|_{y=\frac{L}{2}} = 0$, deducîndu-se din (1) şi (2): $a_1 A_1 e^{a_1 \frac{L}{2}} - a_1 B_1 e^{-a_1 \frac{L}{2}} = 0$ şi respectiv $a_2 A_2 e^{a_2 \frac{L}{2}} - a_2 B_2 e^{-a_2 \frac{L}{2}} = 0$.

Rezultă $B_1 = A_1 e^{a_1 L}$ şi $B_2 = e^{a_2 L}$. Lipsa acumulărilor, respectiv a izvoarelor de căldură, conduce la

$$\left.\frac{d\theta_1}{dx}\right|_{x=0} = -\left.\frac{d\theta_2}{dy}\right|_{y=0} = \frac{\theta_{1,x=0} - \theta_{2,y=0}}{\delta}$$

Atunci

$$\delta(a_1 A_1 - a_1 A_1 e^{a_1 L}) = -\delta(a_2 A_2 - a_2 A_2 e^{a_2 L}) = t_1 + A_1 + A_1 e^{a_1 L} - t_2 - A_2 - A_2 e^{a_2 L}. \qquad (3)$$

Prin fiecare sfert de nervură (pe o singură față, $0 < x < L/2$), se schimbă

$$q_n = \int_0^{L/2} \alpha_1 (t_1 - \theta_1)\, dx = -\alpha_1 \int_0^{L/2} (A_1 e^{a_1 x} + B_1 e^{-a_1 x})\, dx = \frac{\alpha_1 A_1}{a_1} (1 - e^{a_1 L})$$

și ținînd cont de (1), (2) și (3).

$$q_n = \frac{\lambda b \cdot (t_1 - t_2)}{2\left[\delta + \frac{1}{a_1}\frac{e^{a_1 L}+1}{e^{a_1 L}-1} + \frac{1}{a_2}\frac{e^{a_2 L}+1}{e^{a_2 L}-1}\right]}$$

Un canal de agent termic încălzitor cedează pe unitatea de înălțime.

$$q = 4q_n + \frac{2L(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

Deoarece numărul de canale parcurse de unul din agenți este egal cu jumătate din numărul total de canale ale schimbătorului de căldură, rezultă că fluxul total schimbat în medie de fiecare canal (atît de agent termic încălzitor, cît și încălzit), pe înălțimea de 1 m, este dat de relația

$$q_0 = \left(\frac{\lambda \cdot b}{\frac{1}{a_1}\frac{e^{a_1 L}+1}{e^{a_1 L}-1} + \delta + \frac{1}{a_2}\frac{e^{a_2 L}+1}{e^{a_2 L}-1}} + \frac{L}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \right) (t_1 - t_2).$$

Ca un prim exemplu de calcul se prezintă un schimbător care încălzește 10000 m_n^3/h aer de la 0 la 100°C cu gaze (asimilate cu aerul) răcit util în schimbător de la 120 la 20°C.

Fără să se recurgă la calculele de optimizare, se aleg (cu probabilitatea mică de a se nimeri tocmai valorile cele mai economice):

— secțiunea canalelor: 20 × 20 mm (L = 20 mm);
— grosimea stratului de beton dintre canale $b = \ldots = 12$ mm;
— viteza în canale: 5 m_n/s.

Temperatura medie a gazelor și a aerului (cu mici abateri, se ia media aritmetică): 70°C, respectiv 50°C.

Viteza medie a aerului în canale: $5 \frac{273+50}{273} = 5{,}916$ m/s.

Criteriul $Re = \frac{5{,}916 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{18{,}58 \cdot 10^{-6}} = 6368.$

Folosind o relație uzuală,

$$Nu = 0{,}0209\ Re^{0,8}\ Pr^{0,45}\left(1 - \frac{6 \cdot 10^5}{Re^{1,8}}\right),$$

rezultînd $Nu = 18{,}10$ şi $\alpha_1 = 18{,}10\ \frac{0{,}0234}{0{,}020} = 21{,}18$ k cal/m² grd · h = $= 24{,}63$ W/m²K. Sarcina termică a schimbătorului este

$Q = 10000 \cdot 0{,}2441 \cdot 100 = 244100$ k cal/h ≈ 284 kW.

Fluxul de agent termic încălzitor este (cu 2% disipări de căldură) de $\frac{1{,}02 \cdot 244100}{0{,}2447 \cdot 120 - 0{,}2416 \cdot 20} = 10149$ m³$_n$/h.

Viteza medie în canale : $5{,} \cdot \frac{10149}{10000} \cdot \frac{273+70}{273} = 6{,}276$ m/s, cu $Re =$ 6175, $Nu = 0{,}0263\ Re^{0,8}\ Pr^{0,35}\left(1 - \frac{6 \cdot 10^5}{Re^{1,8}}\right) = 22{,}88$, rezultînd $\alpha_2 =$ $= 28{,}14$ k cal/m² · grd · h.

Apoi $a_1 = \left(\frac{2 \cdot 21{,}18}{0{,}012 \cdot 1{,}3}\right)^{1/2} = 52{,}11$ m^{-1} şi

$$a_2 = \left(\frac{2 \cdot 28{,}14}{0{,}012 \cdot 1{,}3}\right)^{1/2} = 60{,}06 \text{ m}^{-1}.$$

Ţinînd cont că $e^{a_1 L} = 2{,}835$ şi $e^{a_2 L} = 3{,}324$, se deduce

$$q = \left(\frac{\frac{1{,}3}{\frac{1}{52{,}11} \cdot \frac{3{,}835}{1{,}835}} \cdot \frac{0{,}012}{+0{,}012 +} \frac{}{\frac{1}{60{,}06} \cdot \frac{4{,}324}{2{,}324}} + \frac{0{,}020}{\frac{1}{21{,}18} + \frac{0{,}012}{1{,}3} + \frac{1}{28{,}14}}}\right) \cdot 20$$

$= (0{,}1878 + 0{,}2174) \cdot 20 = 8{,}104$ k cal/m · · h $\approx 9{,}42$ W/m.

Fluxul de aer trecut printr-un canal :

$0{,}02^2 \cdot 5 \cdot 3600 = 7{,}200$ m³$_n$/h.

Numărul de canale pentru aer : $\frac{10000}{7{,}200} = 1389$ buc ; numărul total de canale : $N = 2778$ buc.

Schimbătorul are înălţimea $\frac{Q}{q \cdot N} = 10{,}84$ m şi ocupă o suprafaţă totală (inclusiv închiderea şi izolaţia lui) de circa 5 m², necesitînd circa 20 m³ beton pentru schimbătorul propriu-zis, 10 m³ beton armat pentru închidere, 10 m³ beton în fundaţii şi 15 m³ beton uşor perlitic pentru izolarea termică. Volumul total de 55 m³ de diferite betoane va necesita circa 120000 lei, investiţia participînd cu circa 120 lei/tcc = 15 lei/MWh. Investiţia specifică în construcţia unui schimbător de tipul propus, insensibil la umiditatea gazelor, nu depăşeşte 10 lei K/W.

Vehicularea gazelor şi a aerului prin schimbător necesită căderi de presiune de circa 400 Pa ; energia electrică cerută de ventilatoare va costa

circa 50 lei/ tcc (6 lei/MWh) economistă prin folosirea unui schimbător care funcționează cu o diferență medie între temperaturile agenților termici de numai 20 K.

Un alt exemplu de aplicare a schimbătorului din beton monolit, pe care îl propunem : un preîncălzitor pentru 100000 m_n^3 /h aer de la 0 la 1200°C, cu presiunea de 3 bari manometrici, încălzit cu gaze de ardere (asimilate cu aerul), la o presiune apropiată de cea atmosferică, răcite util de la 1300 la 100°C. Acceptăm unele condiții constructive simplifica-

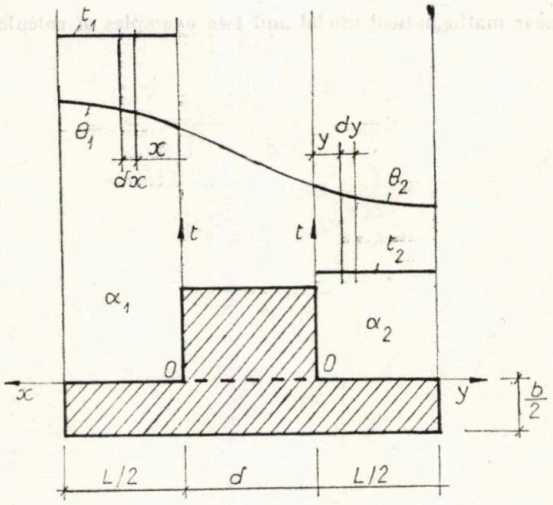


Fig. 1

toare, probabil diferite de cele tehnico-economice ; atît aerul, cît și gazele vor circula prin canale cu o aceeași secțiune pătrată, cu latura de 20 mm. Admitem arbitrar viteza maximă a gazelor de 30 m/s. Calculul termic l-am făcut pe intervale de temperaturi ale aerului (de cîte 200 grade), pentru a reduce erorile prin restrîngerea domeniilor în care am operat cu valori medii aritmetice ale diferitelor mărimi. Cu o ușoară acoperire, am neglijat aportul radiației termice la schimbul de căldură.

Preîncălzitorul de aer va avea înălțimea de 59,86 m. Sarcina sa termică, de 33,36 G cal/h ($\simeq$ 140 GJ/h $\simeq$ 38,8 MW) va necesita 25000 canale cu secțiunea de 20 $\times$ 20 mm, cu grosimea pereților separatori de 14 mm ; suprafața ocupată de schimbător în condiții ideale (nefragmentat) va fi de 28,9 m^2 ; cu izolația termică din betoane ușoare (BIP, BIS și BIG, după caz), suprafața construită va fi de circa 40 m^2. Schimbătorul va fi închis într-un cilindru metalic cu diametrul de circa 7, m, înalt de 60 m, și va necesita o investiție de circa 20 milioane lei, în condițiile unui randament al transferului de căldură de circa 91%, inaccesibil cowperelor actuale. Deținînd mai puține informații asupra indicatorilor cowperelor regenerative existente, ne limităm la a adresa celor interesați rugămintea de a stabili durata de amortizare a întregii investiții numai

prin economiile determinate de răcirea utilă a agentului termic încălzitor pînă la o temperatură cu numai 100 K mai mare decît cea de intrare a aerului rece, luînd în seamă costul admis azi ca economic de circa 2000 lei/tcc.

Some Consideration on the Heat Transfer between Gases

The differences of the temperatures of the thermal agents in the heat exchangers are too much if an advantageous valorification of the gases between 40° and 120°C is desired. In this paper the authors describe a regenerative ceramic heat exchanger, which is very efficient by cheep regenerative padding, by use of the beton.

The linear mathematical model and two examples of calculation are also presented.

C.Z.: 517.3: 524

TEORIA CONSTRUIRII ŞI CALCULĂRII UNUI MODEL DE ATMOSFERA STELARĂ, FACTORIAL ESENŢIAL IN INVESTIGAREA SURSELOR DE ENERGIE COSMICĂ

ELENA TĂNĂSESCU*

Lucrarea prezintă teoria şi tehnica de calcul de modele de atmosferă stelară avînd drept scop construirea şi calcularea unui model de atmosferă stelară negri pentru o stea de tip spectral B, cu temperatura efectivă $T_e = 18000°K$, $\log g = 4$ şi abundenţe atomice normale.

Rezultatele obţinute în modelul calculat, folosind cele mai moderne metode de calcul numeric, au fost comparate cu rezultatele obţinute de alţi autori pentru stele de acelaşi tip spectral pentru a trage concluzii importante pentru viitoarele calcule de modele.

Introducere

Prin atmosferă stelară se înţelege partea din stea care separă interiorul stelei de mediul interstelar, deci straturile de la suprafaţa stelei direct accesibile observaţiilor, în sensul că întreaga cantitate de radiaţie caracteristică acelor straturi poate fi observată fără ca ea să fie absorbită sau difuzată.

În studiul unei atmosfere stelare se consideră că starea fizică a straturilor din atmosferă este determinată de cantitatea de energie radiantă venind din interiorul adînc al stelei, de acceleraţia gravitaţiei şi de compoziţia chimică.

Atmosfera stelară se presupune în stare staţionară şi alcătuită din straturi plan-paralele, adică de extindere mică în comparaţie cu raza stelei.

Fluxul net al radiaţiei πF este constant. Un model de atmosferă stelară pentru o stea cu mărimile πF, g şi abundenţe relative $\{A_i\}$ ale diferitelor specii atomice date înseamnă exprimarea datelor fizice, presiunea totală P, temperatura T, presiunea electronică P_e, densitatea ρ, ca funcţii de o variabilă care măsoară adîncimea în atmosferă.

Primele modele calculate au fost modelele simple ale corpului gri, în care coeficientul de absorbţie continuă se presupune independent de

* Lector dr., catedra Matematici I

frecvența radiației și egal cu o valoare medie $K_\nu = \overline{K}$, iar distribuția temperaturii locale T în funcție de adîncimea optică τ dată de relația:

$$T^4 = \frac{T_e^4}{2}(1 + \frac{3}{2}\tau)$$

1. Atmosfere ne-gri. Corecția de temperatură

Deoarece distribuția temperaturii propusă inițial nu realizează condiția de constanță a fluxului care se poate exprima în două forme echivalente:

$$F = F(\tau) = \int_0^\infty F_\nu(\tau)\, d\nu \text{ sau } \frac{dE}{d\tau} = \int_0^\infty \beta_\nu(\tau)[I_\nu - S_\nu]\, d\nu = 0$$

se obține o eroare de flux de forma:

$$\Delta F = F - \int_0^\infty F_\nu\, d\nu - F_{conv} \text{ unde } \pi F = \sigma T_e^4$$

Scopul nostru este de a reduce această eroare prin modificarea distribuției temperaturii.

Metoda de corectare a temperaturii adoptată în calculele noastre este procedeul de iterație Krook-Avrett recunoscut ca cel mai puternic deoarece asigură o convergență rapidă a procesului de iterație. Prin această metodă corecția asupra fluxului calculat se găsește prin perturbarea cantităților în calcul, adică prin dezvoltarea în serie de termeni de perturbare nu numai a temperaturii dar și a variabilei independente, adică adîncimii optice și a opacității și anume:

$$T(\tau) = T^{(0)}(t) + T^{(1)}(t) \text{ și } \tau = t + \tau_1(t)$$

și notînd: $k_\nu + \sigma = \beta\nu$

$$\beta_\nu(\tau) = \beta_\nu(t) + \tau_1(t)\, \beta'_\nu(t)$$

Cu aceste perturbații și avînd distribuția de temperatură aleasă $T^{(0)}$ se alcătuiește schema iterativă. Dezvoltările conduc la următoarele ecuații pentru adîncimea optică și temperatură (Krook și Avrett, 1963). Ecuația pentru adîcimea optică este:

$$\tau'_1(t) = \frac{d\tau_1}{dt} = \frac{1}{F^{(0)}(t)} \left[F^{(0)}(t) - F(t) - \tau_1 \int_0^\infty \frac{\beta'_\nu}{\beta_\nu} F^{(0)}(t)\, d\nu \right.$$

iar pentru temperatură vom obține o ecuație de forma (Gingerich, 1963)

$$T^{(1)}(t) = \left[(1 + \tau_1') \Delta_\Lambda - \frac{\sqrt{3}}{2} \tau_1'(0) \Delta_{\text{supraf}} - \Delta_{\text{conv}} + \right.$$

$$\left. + \tau_1 \Delta_\Lambda' + \frac{\sqrt{3}}{2} \tau_1(0) \Delta_{\text{supraf}}' \right] \Big/ \int_0^\infty \beta_\nu \frac{\partial S_\nu}{\partial T} \, d\nu$$

Cantitățile cu argument zero sînt evaluate la prima adîncime optică calculată în model, care este mică dar nu zero în toate calculele numerice efectuate. Primul termen din ecuația pentru $T^{(1)}$ este expresia iterației Lambda, al doilea termen dă o corecție a valorii proprii a fluxului la suprafață, iar termenul $\frac{dF}{dt}$ se aplică numai în problemele convective.

Termenii care mai rămîn în formulă sînt comparativi mici și se pot neglija în primă aproximație, încît $T^{(1)}$ să poată fi găsit iterativ.

2. Calculul intensității medii și fluxului

În calculul unui model de atmosferă stelară, funcția sursă $S_\nu(\tau_\nu)$, intensitatea medie $J_\nu(\tau_\nu)$ și fluxul radiației $H_\nu(\tau_\nu)$ trebuie evaluate pentru fiecare adîncime optică monocromatică.

Metoda eficientă este metoda integrării matriciale a ecuației de transfer sugerată de Kurucz (Kurucz, 1969).

Definim momentul general integral al intensității specifice prin :

$$M_n(\tau) = \frac{1}{2} \int_0^\infty \text{sign}(t - \tau)^{n-1} S(t) E_n/t - \tau/dt$$

și atunci ecuațiile pentru intensitatea medie, flux și al doilea moment al intensității se pot scrie :

$$J(\tau) = M_1(\tau), \; H(\tau) = M_2(\tau), \; K(\tau) = M_3(\tau)$$

Împărțind intervalul de integrare în N subintervale și presupunînd că funcția sursă S se poate reprezenta în fiecare interval (τ_j, τ_{j+1}) printr-o parabolă astfel :

$$S(t) = \sum_{k=1}^{3} t^{k-1} \sum_{i=1}^{N} c_{jki} S_i$$

obținem :

$$M_{nlj} = \sum_{k=1}^{3} U_{rljk} \sum_{i=1}^{N} C_{jki} S_i = \sum_{j=1}^{N} A_{nlj} S_j$$

unde :

$$U_{nljk} = \frac{1}{2} \operatorname{sign}(\tau_j - \tau_l)^{n-1} \int_{\tau}^{\tau_{j+1}} t^{k-1} E_n |\tau_l - t| \, dt$$

și

$$A_{nlj} = \sum_{k=1}^{3} \sum_{i=1}^{N} U_{nlik} C_{ikj}$$

Operatorul matricial căutat este A_n, cu ajutorul căruia momentul integral general pentru intensitatea specifică este : $M_n = A_n S$ și atunci intensitatea medie și respectiv fluxul se vor scrie : $J = A_1 S$ și $H = A_2 S$. Se obișnuiesc și notațiile : $A_1 = A$ și $A_2 = \Phi$.

3. Calcularea funcției sursă

Ecuația care dă funcția sursă transpusă matricial devine :

$$S = (I - L)B + LA_1 S \quad \text{sau} \quad (I - LA_1) S = (I - L)B$$

unde I este matricea unitate, L este o matrice diagonală, iar S și B sînt vectori coloană. Soluția acestei ecuații se obține prin inversare directă prin metoda de iterație Gauss-Seidel.

Aproximația de început este presupunerea că $L = 0$ deci $S = B$, adică funcția sursă este funcția Planck. Căutăm o corecție ΔS astfel ca :

$$(I - LA_1)(S + \Delta S) = (I - L)B$$

unde :

$$\Delta S = \frac{(I - L)B - (I - LA_1)S}{1 - L_t A_{1tt}}$$

Se aplică iterația asupra ecuației : $S^{\text{nou}} = S^{\text{vechi}} + \Delta S$, pînă cînd $\Delta S/S$ este mai mic decît 10^{-5}.

4. Calculul opacității stelare

Sursele obișnuite ale opacității adoptate în calculele noastre, sînt următoarele : 1) tranzițiile legat-liber și liber-liber pentru atomul neutru de hidrogen HI, 2) tranzițiile legat-liber și liber-liber pentru ionul negativ de hidrogen H^-, 3) tranzițiile legat-liber și liber-liber pentru atomul neutru de heliu, 4) difuzia electronilor.

Pentru atomul de hidrogen HI, coeficientul de absorbţie legat-liber are forma:

$$K_\nu^* = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n_n}{\rho} a_n \left(1 - \frac{1}{b_n} e^{-h\nu/KT}\right)$$

unde n_n este densitatea numerică în fiecare nivel găsită din ecuaţia lui Boltzmann, $g_n = 2n^2$, $b_n = 1$, iar a_n sînt secţiunile transversale date de aproximaţiile polinomiale ale lui Karsas şi Latter (Karsas şi Latter, 1961).

Coeficientul de absorbţie în tranziţiile liber-liber are forma:

$$K_\nu = \frac{n(HII)}{\rho} n_e \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \int a_\nu(E)\, e^{-E/KT} \frac{E}{k^2T^2} (1 - e^{h\nu/KT})$$

unde integrala este luată peste distribuţia Maxwell- Boltzmann pentru energiile electronilor, presupuşi în echilibru termal.

Formula după care se calculează coeficientul de absorbţie pentru tranziţiile legat-liber pentru H^- este:

$$k_\nu = \frac{n(H^-)}{\rho} a_\nu \left[1 - \frac{e^{-h\nu/KT}}{b(H^-)}\right]$$

unde:

$$n(H^-) = b(H^-) \frac{n(HI,\ n=1}{2} \cdot \frac{n_e}{2} \left(\frac{h^2}{2\pi m\, KT}\right)^{3/2} \cdot e^{0{,}7552\ ev/KT}$$

Secţiunile transversale sînt luate după Gingerich (1964).

Coeficientul de absorbţie în tranziţiile liber-liber a fost evaluat după următoarea formulă:

$$K_\nu = \frac{n(\mathrm{HI},\ n=1)}{\rho} \cdot n_e F_\nu(T)$$

unde $F(T)$ a fost acceptat din calculele lui Stilly şi Callaway (1970) ca fiind:

$$F_\nu(T) = [1{,}3727 \cdot 10^{-25} + (4{,}374 \cdot 10^{-10} - 2{,}5993 \cdot 10^{-7} T)/\nu]/\nu$$

Pentru tranziţiile legat-liber şi liber-liber pentru atomul neutru de heliu, secţiunile transversale la primele niveluri $n = 1$ şi $n = 2$ sînt luate din calculele lui Gingerich (1964), iar pentru niveluri cu $n \geqslant 3$ secţiunile transversale sînt hidrogenice, dar cu ponderile statistice $g_n = 4n^2$.

Opacitatea în tranziţiile liber-liber pentru atomul neutru de heliu este calculată după Peach (1967), funcţia sursă corespunzătoare acestor tranziţii fiind funcţia Planck.

Difuzia electronilor folosită în calcule am presupus-o independentă de unghi și dată de formula:

$$\sigma = 6{,}653 \cdot 10^{-24}\, n_e/\rho$$

unde n_e este numărul de electroni, iar ρ densitatea.

Coeficientul de absorbție totală se obține prin sumarea peste toate grupele:

$$K_\nu = \sum_i K_\nu(i)$$

și deci:

$$k_\nu(\text{total}) = k_\nu + \sigma$$

iar funcția sursă totală va fi:

$$S_\nu = \frac{\sum_i K_\nu(i)\, S_\nu(i) + \sigma J_\nu}{K_\nu\,(\text{total})}$$

Această sumare din calculul opacității se introduce în media Rosseland. Opacitatea Rosseland se calculează după formula

$$\frac{1}{k_{\text{ROSS}}} = \left[\pi \int_0^\infty \frac{1}{k_\nu + \sigma} \cdot \frac{B_\nu\, h\nu/kT^2}{1 - e^{h\nu/KT}}\, \mathrm{d}\nu\right] \Big/ 4\sigma T^3$$

Definim în atmosferă o variabilă de masă prin:

$$-\int \rho \mathrm{d}x = M \quad \text{sau} \quad -\rho \mathrm{d}x = \mathrm{d}M$$

înțelegînd prin M masa pe cm² deasupra fiecărui strat în atmosferă. În termenii acestei variabile și cunoscînd opacitatea Rosseland se definește și se calculează adîncimea optică Rosseland prin relația:

$$\tau_{\text{ROSS}} = \int_{M_1}^{M_N} K_{\text{ROSS}}\, \mathrm{d}M$$

M_1 fiind masa deasupra primului strat și M_N masa deasupra ultimului strat considerat în atmosfera stelară divizată în N straturi.

5. Calcularea variabilelor termodinamice

Deosebit de important în calcularea atmosferelor stelare este setul variabilelor de stare alcătuit din temperatură și presiune, care determină echilibrul de ionizare și excitare a gazului. Dacă ionizarea este implicată

(se consideră cel mult trei stări de ionizare) trebuie găsite densităţile numerice ale tuturor speciilor care contribuie cu un număr remarcabil de electroni. Pentru a calcula densităţile numerice de echilibru ne trebuie tot atîtea ecuaţii cîte condiţii sînt impuse.

Prima ecuaţie este abundenţa. Pentru fiecare element din atmosferă ecuaţiile abundenţelor au forma:

$$n(Q) + n(Q^+) + n(Q^{++}) + \ldots = X_Q \cdot n_A$$

indicînd prin Q un element arbitrar constituent al atmosferei.

A doua condiţie este conservarea energiei care exprimă că sarcina electrică totală este zero, iar ultima condiţie este ca numărul total de particule $n_{\text{total}} = P/kT$.

Rezolvarea ecuaţiilor de echilibru care dau densităţile numerice ale atomilor neutri, numărul de electroni şi numărul de atomi la fiecare strat în atmosferă se face printr-un proces iterativ, prin metoda eliminării Gauss-Jordan.

Presupunem pentru început un număr de electroni n_e şi găsim $n_A = n_{\text{total}} - n_e$, pe care le înlocuim în ecuaţiile abundenţelor. În ipoteza că fiecare densitate numerică este scrisă în termeni ai atomilor neutri şi electronilor, forma cea mai generală a ecuaţiei Saha este:

$$n_{123\ldots m}^{k+} = \frac{n_1 n_2 \cdots n_m}{n_e^k} \cdot \varepsilon(T)$$

unde $n_{123\ldots m}^{k+}$ înseamnă m atomi cu k sarcini pozitive.

Ecuaţiile lui Saha în termeni ai lui $n(Q)$ şi valoarea prezisă a lui n_e vor deveni:

$$n(Q^+) = \frac{n(Q)}{n_e} \cdot \varepsilon(T) \quad \text{şi}$$

$$n(Q^{++}) = \frac{n(Q^+)}{n_e} \cdot \varepsilon' = \frac{n(Q)}{n_e} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\varepsilon'}{n_e}, \text{ etc.}$$

care înlocuite în ecuaţiile abundenţelor dau o ecuaţie pentru determinarea numărului de electroni:

$$n(Q) + \frac{n(Q)}{n_e} \cdot \varepsilon + \frac{n'(Q)}{n_e} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\varepsilon'}{n_e} + \ldots = X_Q \cdot n_A$$

După evaluarea şi rezolvarea ecuaţiilor abundenţelor, ecuaţia conservării energiei conduce la o nouă valoare a lui n_e, pe care o folosim drept bază pentru următoarea iteraţie.

Cunoscînd n_e, presiunea electronică o determinăm prin relaţia:

$$P_e = n_e \cdot kT.$$

MŰSZAKI EGYETEM KÖNYVTÁRA 1848 KÖZPONTI

5.1. Ecuația echilibrului hidrostatic

Presupunerea că atmosfera este în echilibru hidrostatic conduce la ecuația :

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{g}{k_\nu + \sigma}$$

Integrarea presiunii începe prin prescrierea lui $T(\tau)$. Sînt 3 regiuni în care se folosesc forme diferite de integrare. Prima regiune este de la $\tau = 0$ pînă la primul τ. În această regiune se face presupunerea că opacitatea este constantă și egală cu 0,1, se rezolvă ecuația diferențială pentru presiune la acea adîncime optică și se găsește din P și T un nou k prin interpolare într-un tabel de opacități ca funcție de P și T. Iterația continuă asupra ecuației :

$$P_1^{\text{total}} - 0 = (\tau_1 - 0)\frac{g}{k_1} \text{ și deci } P_1 = P_{\text{II}}^{\text{total}} - P_1^{\text{red}} - P_1^{\text{turb}}$$

pînă cînd $|\ln P^{\text{nou}} - \ln P^{\text{vechi}}| \leqslant 0{,}00005$

Următorii trei pași se calculează luînd ecuația diferențială sub formă logaritmică :

$$\Delta \ln P^{\text{total}} = \ln P_j^{\text{total}} - \ln P_{i-1}^{\text{total}} = \frac{g\tau_j}{k_j P_j}\Delta \ln \tau$$

căreia îi aplicăm iterația cu aceeași condiție.

Odată obținute primele patru puncte, pentru celelalte puncte τ_j cu $j > 4$ se aplică metoda lui Hamming pentru ecuația presiunii, care conduce la :

$$\ln P_j = (3 \ln P_{j-4} + 8\Delta \ln P_{j-1} - 4\Delta \ln P_{j-2} + \delta \ln P_{j-3})/3.$$

și o ecuație analoagă pentru iterație.

5.2. Densitatea și înălțimea geometrică

Densitatea într-o atmosferă stelară se determină din legea gazelor perfecte : $\rho = P/RT = P\mu/R_m T$

unde P este presiunea gazoasă, $R_m = 8{,}31\text{E} + 07$, iar μ este greutatea atomică determinată din suma produselor abundențelor elementelor prin masa atomică a fiecărui element.

Înălţimea geometrică în atmosferă se deduce din relaţia:

$$x = -\int_0^M \frac{dM}{\rho}$$

unde M este masa deasupra fiecărui strat în atmosferă, iar ρ densitatea. Limita inferioară 0 este aleasă arbitrar la primul M determinat în atmosferă.

6. Transportul de energie convectiv într-o atmosferă stelară

Schwarzschild (1906) a stabilit criteriul apariţiei convecţiei în stea, cînd valoarea absolută a gradientului radiativ depăşeşte valoarea absolută a gradientului adiabatic, adică:

$$\left|\frac{dT}{dx}\right|_{rad} > \left|\frac{dT}{dx}\right|_{ad}$$

Folosind teoria lungimii de amestec dezvoltată de Cox şi Giuli (Cox şi Giuli, 1968), luînd $1/h=1{,}5$ şi calculînd fluxul convectiv după formulă:

$$F = \frac{1}{8\pi}\left(\frac{l}{h}\right)\rho\, C_P T V_{conv}(\nabla - \nabla_R)$$

unde viteza convectivă se calculează din relaţia:

$$V_{conv} = A(\Delta - \Delta_R)^{1/2} \text{ cu } A = \sqrt{-\frac{1}{8} g.h\left(\frac{l}{h}\right)^2 \left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial \ln T}\right)_P}$$

iar gradientul radiativ se calculează după expresia:

$$\nabla - \nabla_R = B + (\nabla - \nabla_A) - \sqrt{B}\cdot\sqrt{B + 2(\nabla - \nabla_A)}$$

cu:

$$B = \frac{1}{2}\left[\frac{32\sqrt{2}\,\sigma T^3}{K_{ROSS}\,\rho^2 h\, c_p \left(\frac{l}{h}\right)\cdot A}\right]$$

Aplicînd teoria expusă, rezultatele calculelor efectuate atestă teoria generală că în stele de tip spectral B, convecţia este foarte mică, ea apărînd prin valori de ordinul 10^{-9} în jurul adîncimii optice $\tau = 0{,}4$.

În continuare vor fi prezentate rezultatele calculelor de modele de atmosferă stelară.

7. Metode de calcul al unui model de atmosferă stelară

Pentru a începe calcularea unui model de atmosferă stelară trebuie presupusă o lege de distribuţie a temperaturii cu adîncimea optică. În calculele noastre, aceasta este relaţia de distribuţie a temperaturii dintr-un model gri.

Primele informaţii necesare în calcularea modelului sînt: temperatura efectivă, $T_e = 18 \cdot 000°K$, acceleraţia gravitaţiei constantă şi egală cu 10^4 cm sec^{-2} şi abundenţele elementelor chimice presupuse normale.

Conform formulei de distribuţie gri a temperaturii se calculează temperatura în funcţie de adîncimea optică pentru care considerăm un set de 20 valori geometric crescătoare cu o constantă $c = \tau_{n+1}/\tau_n$, al cărui logaritm este 1/5, începînd de la $\tau_1 = 0{,}5624E-03$. Cu $T(\tau)$ cunoscut, se rezolvă ecuaţia echilibrului hidrostatic pentru aflarea presiunii şi se găseşte opacitatea Rosseland prin interpolare într-un tabel de opacităţi ca funcţie de $\log T$ şi $\log P$.

Cu presiunea gazoasă astfel determinată se calculează masa deasupra fiecărui cm^2 în atmosferă din relaţia $M = P/g$.

Tabelul 1 constituie modelul iniţial avînd respectiv pe coloane, τ-adîncimea optică în atmosferă, RHOX — masa deasupra fiecărui cm^2,

Tabelul 1

Modelul iniţial bazat pe distribuţia de temperatură a corpului gri

	τ	RHOX	T	P	k_{ROSS}
1	0,5624E-03	3,0599E-04	12599,6	3,060	0,3268
2	0,1000E-02	5,3880	12600,3	5,388	0,3418
3	0,1778	9,3044	12701,6	9,304	0,3645
4	0,3162	1,5748E-03	12803,8	1,575E01	0,3986
5	0,5624	2,6080	12907,9	2,6080	0,4475
6	0,1000E-01	4,2209	13315,0	4,221	0,5165
7	0,1778	6,6712	13627,7	6,671	0,6117
8	0,3162	1,0306E-02	14650,1	1,030E02	0,7403
9	0,5624	1,5599	15689,6	1,560	0,9105
10	0,1000	2,3207	16758,6	2,321	1,1320
11	0,1778	3,4067	16877,6	3,407	1,4108
12	0,3162	4,9623	17078,7	4,962	1,7421
13	0,5624	7,2255	18407,2	7,225	2,1035
14	0,1000E01	1,0622E-01	18919,4	1,062E03	2,4473
15	0,1778	1,5936	19672,9	1,594	2,7281
16	0,3162	2,4570	19723,2	2,457	2,9487
17	0,5624	3,9053	20143,3	3,905	3,0605
18	0,1000E02	6,4237	21037,8	6,424	3,1207
19	0,1778	1,0796	23497,3	1,080E04	3,2136
20	0,3162	1,8228	26573,4	1,823	3,4206

P-presiunea, T-temperatura, k-opacitatea Rosseland, numărul de electroni fiind 0, presiunea de radiaţie 0 şi de asemenea presiunea de turbulenţă 0.

După calcularea modelului iniţial, programul principal începe iteraţia în calculul modelului mărind printr-o instrucţiune variabila ITEMP

(iteraţia în temperatură). Fiecare din subrutinele programului care calculează anumiţi parametri fizici din stea testează dacă această variabilă se schimbă şi în caz afirmativ recalculează toţi parametrii dependenţi de temperatură.

Se rezolvă ecuaţiile echilibrului de ionizare a lui Saha, ecuaţia de stare a amestecului admis, pentru aflarea densităţilor numerice, numărului de electroni, numărul de atomi în fiecare strat din atmosferă, densitatea gazoasă şi presiunea electronică.

Cu densităţile numerice calculate pentru hidrogen şi heliu, programul este pregătit să calculeze opacităţile şi cîmpul de radiaţie. Programul iniţializează integralele în raport cu frecvenţa prin chemarea tuturor subrutinelor care efectuează astfel de integrale şi anume TCORR care lucrează corecţiile de temperatură, RADIAP care calculează presiunea de radiaţie şi ROSS care calculează opacitatea Rosseland.

În calculele noastre, am folosit un set de 76 frecvenţe din intervalul $\nu \in [3{,}28805671E13\,;\ 328807671E15]$, înregistrate împreună cu coeficienţii de pondere respectivi calculaţi prin metoda celor mai mici pătrate.

Opacitatea este calculată prin evaluarea fiecărei opacităţi parţiale din expresiile lor analitice şi apoi făcînd sumarea peste toate grupele în discuţie se calculează opacitatea totală şi funcţia sursă pentru spectrul continuu.

Se găseşte τ_ν prin integrarea relaţiei:

$$d\tau_\nu = \frac{K_\nu(\tau) + \sigma(\tau)}{K(\tau)}\, d\tau$$

Valorile integrale ale fluxului şi intensităţii medii la diferite adîncimi optice într-un model de atmosferă stelară sînt găsite din sumele ponderate asupra unui grup bine ales de fluxuri monocromatice şi intensităţi medii. Se evaluează S_ν, J_ν, H_ν prin interpolare asupra lui L_ν şi B_ν de la un set de adîncimi optice τ la un set fixat τ, se efectuează integrarea şi apoi se interpolează valorile rezultate din nou în setul τ_ν.

Urmînd metoda expusă, calculele efectuate pe calculator dau valori pentru funcţia sursă, intensitatea medie şi fluxul monocromatic la toate frecvenţele din setul ales şi la orice adîncime optică considerată în atmos-

Tabelul 2 (extras)

Valorile fluxului monocromatic emergent

Lungimea de undă	Modelul Ström şi Avrett	Modelul Tănăsescu
911,9	1,634E-04	1,723E-04
1332,1	1,729	1,768
2050,3	1,595	1,680
3121,8	1,348	1,440
3647,4	2,144	2,205
5695,1	1,210	1,475
17790,4	0,209	0,181
32799,8	0,068	0,122

feră. Tabelul 2 conține valorile fluxului emergent conform căruia am trasat graficul din fig. 1.

După ce toate integralele în raport cu frecvența sînt calculate se poate termina iterația, calculînd în primul rînd opacitatea Rosseland și

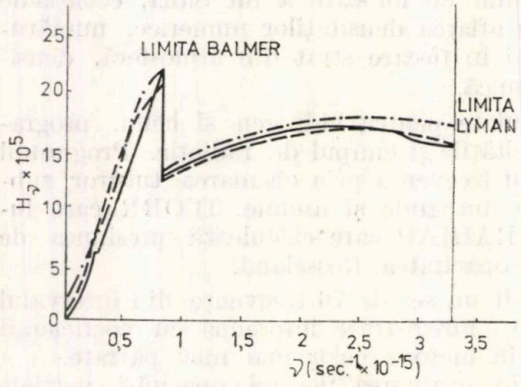


Fig. 1

Fig. 1 Fluxul monocromatic emergent într-o stea de tip spectral *B*. Linia plină este din calculele lui Aller, linia punctată (– – – –) din calculele lui Ström și Avrett, linia întreruptă (–.–.–.) din calculele autoarei pentru τ — 0,4594 E-03.

adîncimea optică Rosseland. — Programul cheamă apoi subrutina CONVEC ca să calculeze fluxul convectiv.

Subrutina TCORR face corecția de temperatură calculînd corecția de flux, corecția Λ și corecția de suprafață și în final corecția totală.

În ultima iterație care pentru noi este a opta, eroarea în corecția de temperatură este de ordinul a 25°K, iar eroarea în corecția de flux este sub 1%.

Tabelul 3

τ_{ROSS}	T(°K)	$P_e \left(\frac{dine}{cm^2}\right)$	k_{ROSS}	$\rho \left(\frac{g}{cm^3}\right)$	x(km)
0,4594E-03	12199,2	1,298	0,3271	0,1678E-11	0,1171E-04
0,9472	12201,4	2,271	0,3425	0,2954	0,1715
0,1907E-02	12305,1	3,977	0,3648	0,5100	0,2219
0,3691	12806,9	6,988	0,3990	0,8628	0,2704
0,7107	12908,2	1,68E-01	0,4476	0,1428E-10	0,3168
0,1443E-01	13213,3	1,942	0,5196	0,2309	0,3611
0,2784	13621,2	3,146	0,6123	0,3643	0,4031
0,6385	14289,4	5,115	0,7431	0,5611	0,4431
0,9256	15309,2	8,298	0,9109	0,8447	0,4812
0,11051E00	16456,3	1,32E02	0,1172E01	0,1245E-09	0,5179
0,3289	17624,7	2,085	0,1431	0,1798	0,5535
0,4356	17927,1	3,087	0,2293	0,2548	0,6246
0,6921	18325,6	4,361	0,2293	0,3546	0,5888
0,9240	18928,5	6,987	0,2649	0,4858	0,7039
0,1059E01	19720,2	1,09E03	0,3425	0,6564	0,7505
0,2124	19960,3	1,704	0,3941	0,8722	0,8041
0,5899	20347,0	2,763	0,4320	0,1125E-08	0,8264
0,9182	21233,8	4,798	0,4531	0,1366	0,8669
0,2031E02	23620,2	6,858	0,4702	0,1436	0,9395
0,3184	26818,9	1,08E04	0,4920	0,9875	1,0180

Îmbunătăţirea pe care o aduce a opta iteraţie în distribuţia temperaturii cît şi justificarea faptului că ne oprim la această iteraţie sînt reliefate de figura 2, în care reprezentăm fluxurile integrale din prima şi respectiv din a opta iteraţie, luînd constanta de flux egală cu 1 în unităţi fără dimensiuni.

Valorile parametrilor fizici calculaţi după a opta iteraţie care pentru noi constituie modelul final sînt înregistrate în tabelul 3, care conţine pe coloane respectiv : τ — adîncimea optică Rosseland, T temperatura, P_e — presiunea electronică, k — opacitatea Rosseland, ρ — densitatea gazoasă, x — înălţimea geometrică.

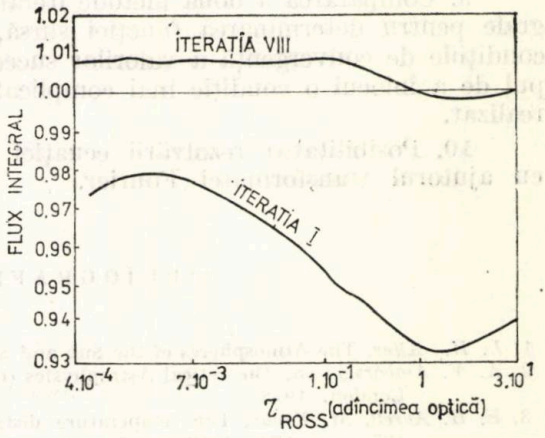


FIg. 2 Fluxul integral calculat în prima şi a opta interaţie

Concluzii

Problema construirii şi calculării unui model de atmosferă stelară, care a constituit subiectul acestei lucrări este un exemplu complex, de modelare matematică, necesitînd o amplă abordare teoretică şi de calcul.

Din studiul atmosferelor stelare ne-gri şi din rezultatele obţinute în lucrarea de faţă prin calcularea modelului se pot trage următoarele concluzii şi se pot întreprinde mai multe aplicaţii şi extinderi.

1. Aplicarea modelului de atmosferă calculat pentru spectrul continuu la calcularea profilelor de linii şi a lărgimilor echivalente ale lor pentru compararea cu acelea obţinute din observaţie, în vederea ameliorării modelelor.

2. Calcularea lui ν şi compararea curbei care reprezintă variaţia fluxului monocromatic în funcţie de frecvenţa radiaţiei, la prima valoare a adîncimii optice Rosseland calculată în model cu curbele obţinute de alţi autori pentru stele de acelaşi tip spectral şi cu acelea obţinute din observaţii.

3. Calcularea discontinuităţii Balmer şi compararea cu datele de observaţie avînd în vedere în special regiunea UV a spectrului (din calculele modelului D = 0,204).

4. Folosirea modelului de atmosferă la determinarea temperaturilor efective şi a corecţiilor bolometrice pentru stele din tipul spectral considerat.

5. Interpretarea rezultatelor înregistrate dă informaţii asupra stării generale a gazului din atmosfera studiată şi în special a gradului de ionizare la diferite adîncimi. Calcularea temperaturilor de excitare şi ionizare.

6. Proprietăţile generale ale funcţiilor ce definesc cîmpul de radiaţie din atmosfera stelară, adică a funcţiilor S_ν, J_ν, şi F_ν, privindu-le atît ca

funcţii de adîncimea optică cît şi ca funcţii de frecvenţa radiaţiei ν, pentru spectrul continuu din intervalul de frecvenţă considerate în calcul.

7. Observaţii asupra depărtării de la corpul gri, pe baza rezultatelor înregistrate în tabele şi a rezultatelor altor autori care iau în considerare aceleaşi ipoteze de calcul.

8. Concluzii asupra rolului convecţiei în stele de tip spectral B care au constituit obiectul studiului şi calculului din lucrarea de faţă.

9. Compararea a două metode iterative de rezolvare a ecuaţiei integrale pentru determinarea funcţiei sursă, exprimînd explicit iteratele şi condiţiile de convergenţă a valorilor succesive din fiecare iteraţie, în scopul de a înlocui o condiţie mai complicată cu două condiţii mai uşor de realizat.

10. Posibilitatea rezolvării ecuaţiei integrale pentru funcţia sursă cu ajutorul transformatei Fourier.

BIBLIOGRAFIE

1. *L. H. Aller*, The Atmospheres of the Sun and Stars ed. Roland Press, New-York. 1963.
2. *A. V. Ambarzumian*, Theoretical Astrophysics (tradusă de J. B. Sykes) Pergamon Press, London, 1958
3. *E. H. Avrett, M. Krook*, The temperature distribution in a stellar atmosphere. Ap. J. 137, pag. 874, 1963
4. *D. Barbier*, Encyclopedia of Physics, Berlin, Gottingen, Heidelberg, pag. 274, 1958.
5. *E. Bohm — Vitense*, Zs. f. Ap., 32, 135, 1953.
6. E. *Bohm — Vitense*, An integral equation for the temperature correction in a non-gray atmosphere. Proc. lst Harvard Smithsonian Conf. Stellar Atmospheres, 1963 S. A. O. Spec. Rep. No. 167, pag. 99, 1964
7. S. *Chandrasekhar*, Radiative Transfer. Clarendon Press, 1950.
8. *A. N. Cox, J. N. Stewart*, Ap. J. Suppl., 11, pag. 22, 1965.
9. *J. P. Cox, R. T. Giuli*, Principles of Stellar Structure, Gordon and Breach, New-York, pag. 1327, 1968.
10. *A. S. Eddington*, Internal Constitution of the Stars, Cambridge University, Press, London, 1926.
11. *S. Geltman*, The bound — free absorbtion coefficient of the hydrogen negative ion, Astrophys. Journ., vol., 136, pag. 935, 1962
12. *O. Gingerich*, Review of opacity calculations, Proc. lst Harvard Smithsonian Conf. Stellar Atmospheres, S. A. O. Spec. Rep. No. 167, pag. 17, 1964.
13. *J. L. Greenstein*, Stellar Atmospheres, The University of Chicago Press. Chicago-London, 1964.
14. *K. Hunger, G. Traving*, Zeits f. Ap. J. 39, 248, 1956.
15. *C. de Jager, L. Neven*, Rech. Astr. Obs. Utrecht, vol. 13, Part. 4, 1957
16. *W. J. Karsas, R. Latter*, Electron radiative transitions in a Coulomb field, Astrophys. Journ. Suppl., vol. 6, pag. 167, 1961.
17. *M. Krook*, Ap. J. April, 1963.
18. *V. Kourganoff*, Basic Methods in Transfer Problems, Oxford, Clarendon Press, 1952.
19. *R. L. Kurucz*, A computer program for calculating model stellar atmospheres, Smithsonian Astrophysical Observatory, 1971.
20. *D. Labs*, Zs. f. Ap. 29, 199, 1951.
21. *C. Mark*, Phys. Rev. 72, 558, 1947
22. *D. H. Menzel*, Mathematical Physics. Prentice — Hall, Inc., Englewood Cliffs, H. J. 1953.
23. *G. Peach*, Continuous absorbtion coefficientes for nonhydrogenic atoms, Mem. Roy. Astron. Soc., vol. 73, 1—123, 1970.
24. *C. Popovici*, On the continuous solar emergent radiation, The 5th Consultation on Solar Physics and Hydromagnetics, Potsdam 30, 9, 1968.

25. *S. Rosseland*, Mon. Not. Roy. astr. Soc. 84, pag. 525, 1924.
26. *K. Schwarzschild*, Götingen Nachr, No. 41, 1906.
27. *J. L. Stilly, J. Callaway*, Free-free absorbtion coefficient of the negative hydrogen ion, Astrophys. Journ., vol. 160, pag. 245—260, 1970.
28. *S. E. Strom, W. Kalkofen*, Ap. J. 144, 76, 1966.
29. *E. Tănăsescu*, Distribuţia temperaturii intr-o atmosferă stelară gri. St. cerc. astr., tom. 18, nr. 2, Bucureşti, pag. 209—212, 1973
30. *A. Unsold*, Physik der Sternatmospharen, (2nd ed. ; Berlin Springer-Verlag), 1942
31. *R. V. D. Woolley, D. W. N. Stibbs*, The Outer Layers of a Star, (Oxford : Clarendon Press), 1953.

Théorie de la construction et du calcul d'un modèle d'atmosphère stellaire, facteur essentiel dans l'investigation des sources d'énergie cosmique

Le travail présente la théorie et la technique de calcul des modèles d'atmosphère stellaire ayant comme but la construction et le calcul d'un modèle d'atmosphère stellaire non-gris pour une étoile de type spectral *B* à la température effective, $Te = 18.000^{1}$K, log $g = 4$, et aux abondances atomiques normales.

Les résultats obtenus dans le modèle calculé, suivant les plus modernes méthodes du calcul numérique, ont été comparés aux résultats obtenus par d'autres auteurs à des étoiles du même type spectral afin d'en tirer des conclusions importantes pour les futurs calculs de modèles.

C.Z.: 621.316·004.12

O METODĂ PENTRU DETERMINAREA INDICATORILOR DE CALITATE A ENERGIEI ELECTRICE

I. S. ANTONIU, I. N. CHIUȚĂ, D. R. GHEORGHIADE*

Lucrarea își propune să introducă un număr restrîns de indicatori de calitate a energiei electrice. Acești indicatori sînt necesari pentru măsurarea și predeterminarea efectelor consumatorilor trifazați, dezechilibrați, nesimetrici și deformanți asupra rețelei de alimentare — pentru a stabili măsuri de îmbunătățire a calității distribuției energiei din rețelele electrice.

1. Introducere

Calitatea energiei electrice reprezintă o condiție a funcționării sistemului energetic național. Studiul calității energiei necesită analiza:

— variațiilor lente și bruște ale frecvenței, tensiunii și curentului;

— deformării de la forma sinusoidală a curentului și tensiunii;

— dezechilibrului tensiunilor și curenților etc.

Se impune să se determine:

— nivelul actual al parametrilor de calitate a energiei electrice în sisteme electroenergetice și la receptori;

— cauzele perturbațiilor care provoacă abateri de la calitatea energiei electrice.

2. Metoda pentru determinarea indicatorilor de calitate

Fie un consumator deformat ale cărui oscilograme ale tensiunii și curentului pe fază sînt cunoscute. În funcție de alegerea sistemului de referință acestea pot fi descrise de relațiile (fig. 1—2):

$$\left.\begin{aligned} u_c(t) &= \sum_1^\infty U_k\sqrt{2}\,\cos(k\omega t+\alpha_k) = U_c\,\cos\omega t - U_s\,\sin\omega t \\ i_c(t) &= \sum_1^\infty I_k\sqrt{2}\,\cos(k\omega t+\beta_k) = I_c\,\cos\omega t - I_s\,\sin\omega t \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

sau

---

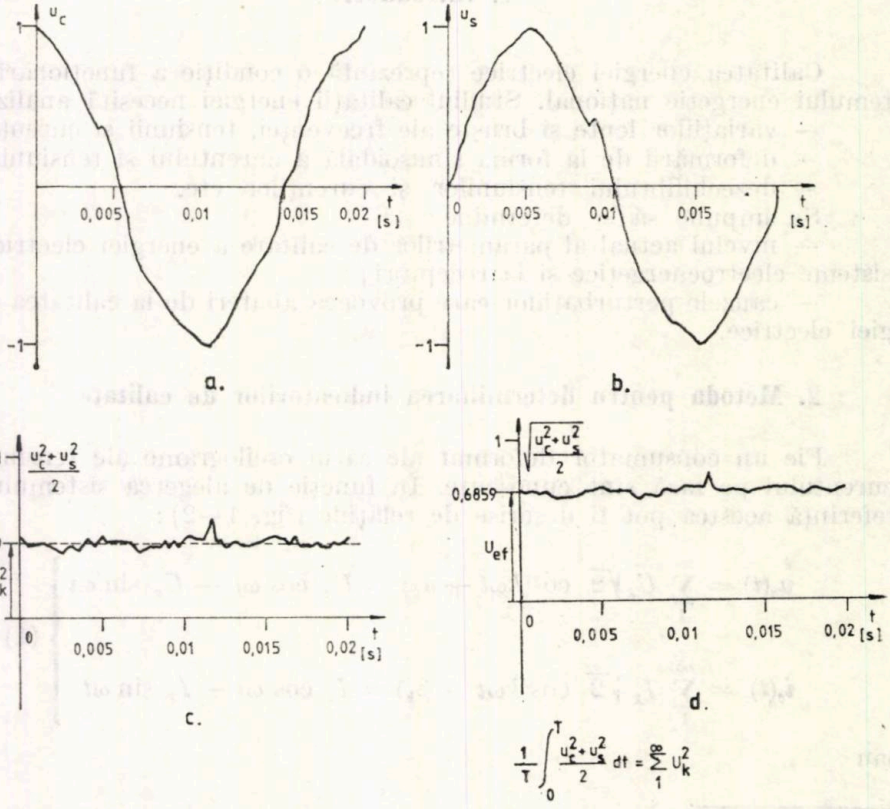
* Prof. dr. docent; Șef lucrări dr. ing., catedra Centrale și rețele electrice; Ing., Intrep. Metroul București

$$u_s(t) = \sum_1^\infty U_k \sqrt{2}\ \sin(k\omega t + \alpha_k) = U_c\ \sin\omega t + U_s\ \cos\ \omega t$$

$$i_s(t) = \sum_1^\infty I_k\ \sqrt{2}\ \sin(k\omega t + \beta_k) = I_c\ \sin\ \omega t + I_s\ \cos\omega t$$

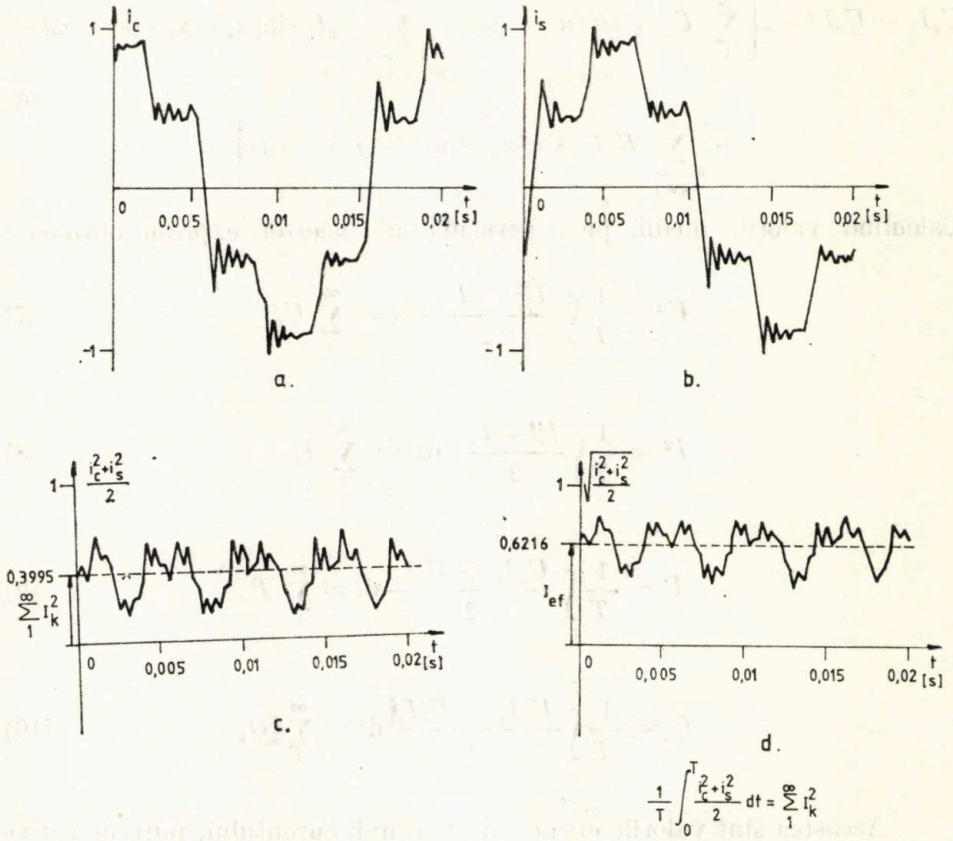
unde :

$$\left.\begin{aligned} U_c &= \sum_1^\infty U_k\sqrt{2}\ \cos\ [\alpha_k + (k-1)\omega t] \\ U_s &= \sum_1^\infty U_k\sqrt{2}\ \sin\ [\alpha_k + (k-1)\omega t] \\ I_c &= \sum_1^\infty I_k\sqrt{2}\ \cos[\beta_k + (k-1)\omega t] \\ I_c &= \sum_1^\infty I_k\sqrt{2}\ \sin[\beta_k + (k-1)\omega t] \end{aligned}\right\} \quad (2)$$



$$\frac{1}{T}\int_0^T \frac{u_c^2 + u_s^2}{2}\,dt = \sum_1^\infty U_k^2$$

Fig. 1 — Caracteristicile $u_c(t)$, $u_s(t)$, $\dfrac{u_c^2 + u_s^2}{2} = f(t)$



$$\frac{1}{T}\int_0^T \frac{i_c^2+i_s^2}{2}\,dt = \sum_1^\infty I_k^2$$

Fig.—2. Caracteristicile $i_c(t)$, $i_s(t)$, $\dfrac{i_c^2+i_s^2}{2} = f(t)$

În lucrări anterioare [1, 2, 3] s-a demonstrat că :

$$U_c^2 + U_s^2 = 2\left[\sum_1^\infty U_k^2 + 2\sum_{\substack{k,\ j=1\\ k\neq j}}^{\infty} U_k U_j \cos\left(\alpha_k - \alpha_j + (k-1)\omega t\right)\right] \quad (3)$$

$$I_c^2 + I_s^2 = 2\left[\sum_1^\infty I_k^2 + 2\sum_{\substack{k,\ j=1\\ k\neq j}}^{\infty} I_k I_j \cos(\beta_k - \beta_j + (k-1)\omega t)\right] \quad (4)$$

$$U_c I_c + U_s I_s = 2\left[\sum_1^\infty U_k I_k \cos(\alpha_k - \beta_k) + \sum_{\substack{k,\ j=1\\ k\neq j}}^{\infty} U_k I_j \cos[\alpha_k - \beta_j + (k-j)\omega t] + \right.$$

$$\left. + \sum_{\substack{k,\ j=1\\ k\neq j}}^{\infty} U_j I_k \cos[\alpha_j - \beta_k + (j-k)\,\omega t]\right] \quad (5)$$

$$U_s I_c - U_c I_s = 2\left[\sum_1^\infty U_k I_k \sin(\alpha_k - \beta_k) + \sum_{\substack{k,\ j=1 \\ k\neq j}}^{\infty} U_k I_k \sin[\alpha_k - \beta_j + (k-j]\omega t) + \right. \tag{6}$$

$$\left. + \sum_{\substack{k,\ j=1 \\ k\neq j}}^{\infty} U_j I_k \sin[\alpha_j - \beta_k + (j - k)\omega t]\right]$$

Calculînd valorile medii, pe o perioadă, ale acestor expresii obținem :

$$U^2 = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{U_c^2 + U_s^2}{2}\,dt = \sum_1^\infty U_k^2 \tag{7}$$

$$I^2 = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{I_c^2 + I_s^2}{2}\,dt = \sum_1^\infty I_k^2 \tag{8}$$

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{U_c I_c + U_s I_s}{2}\,dt = \sum_1^\infty P_k \tag{9}$$

$$Q = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{U_s I_c - U_c I_s}{2}\,dt = \sum_1^\infty Q_k \tag{10}$$

Aceastea sînt valorile eficace ale tensiunii curentului, puterile active și reactive. Pornind de la relațiile (1) obținem următoarele identități de invarianță care ne permit să determinăm aceste mărimi fără a folosi analiza armonică :

— pentru tensiuni :

$$U_c^2 + U_s^2 = u_c^2(t) + u_s^2(t) = [U_c^2 \cos^2 \omega t + U_s^2 \sin^2 \omega t - 2U_c I_c \sin \omega t \cos \omega t] +$$

$$+ [U_c^2 \sin^2 \omega t + U_c^2 \cos^2 \omega t + 2U_c U_s \sin \omega t \cos \omega t] \tag{11}$$

— pentru curenți :

$$I_c^2 + I_s^2 = i_c^2(t) + i_s^2(t) = [I_c^2 \cos^2 \cos^2 \omega t + I_s^2 \sin^2 \omega t - 2I_c I_s \sin \omega t \cos \omega t] +$$

$$+ [I_c^2 \sin^2 \omega t + I_s^2 \cos^2 \omega t + 2I_c I_s \sin \omega t \cos t] \tag{12}$$

— pentru puteri :

$$U_s I_s + U_c I_c = u_s(t)\, i_s(t) + u_c(t)\, i_c(t) = [U_c I_c \sin^2 \omega t + U_s I_s \cos^2 \omega t +$$

$$+ (U_c I_s + U_s I_c) \sin \omega t \cos \omega t] + [U_c I_c \cos^2 \omega t + U_s I_s \sin^2 \omega t -$$

$$(U_c I_s + U_s I_c) \sin \omega t \cos \omega t] \tag{13}$$

$$U_s I_c + U_c I_s = u_s(t) i_c(t) + u_c(t) i_s(t) = [U_c I_s \sin^2 \omega t + U_s I_c \cos^2 \omega t -$$

$$- (U_c I_c - U_s I_s) \cos \omega t \sin \omega t] + [- U_c I_s \cos^2 \omega t + U_s I_c \sin^2 \omega t +$$

$$+ (U_c I_c - U_s I_s) \cos \omega t \sin \omega t] \tag{14}$$

Aceste relații conduc la o formă echivalentă, în valori instantanee, a principiului separării puterilor în regim deformant:

$$\left.\begin{aligned} (u_c^2 + u_s^2)(i_c^2 + i_s^2) &= (u_c i_c + u_s i_s)^2 + (u_s i_c - u_c i_t)^2 \\ (U_c^2 + U_s^2)(I_c^2 + I_s^2) &= (U_c I_c + U_s I_s)^2 + (U_s I_c - U_c I_s)^2 \end{aligned}\right\} \tag{15}$$

Notînd:

$$4s^2(t) = (u_c^2 + u_s^2)(i_c^2 + i_s^2)$$

funcția reprezentată în figura 3, avem conform principiului separării puterilor C. I. Budeanu:

$$\frac{1}{T}\int_0^T \frac{u_c^2 + v_s^2}{2} \cdot \frac{i_c^2 + i_s^2}{2} \cdot dt = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{u_c i_c + u_s i_s}{2} dt + \frac{1}{T}\int_0^T \frac{u_s i_c + u_c i_s}{2} dt \tag{16}$$

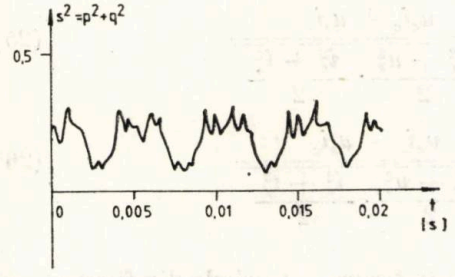


Fig. 3 — Caracteristica $s^2(t)$

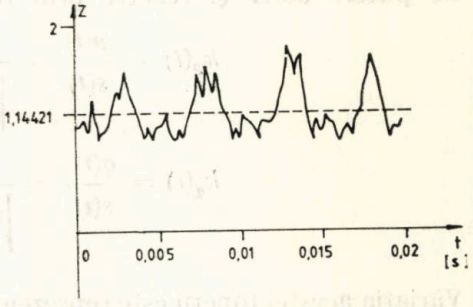


Fig. 4 — Caracteristica $Z(t)$

Se obține:

$$\sum_1^\infty U_k^2 \sum_1^\infty I_k^2 + S_d^2 \equiv \left(\sum_1^\infty P_k\right)^2 + P_d^2 + \left(\sum_1^\infty Q_R\right)^2 + Q_d^2 \tag{17}$$

respectiv:

$$\sum_1^\infty U_k^2 \sum_{1!}^\infty I_k^2 \equiv \left(\sum_1^\infty P_k\right) + \left(\sum_1^\infty Q_R\right)^2 + (P_d^2 + Q_d^2 - S_d^2) \tag{18}$$

unde:

$$D^2 = P_d^2 + Q_d^2 - S_d^2 \tag{19}$$

este puterea deformantă introdusă de C. I. Budeanu.

Trebuie observat că :

$$S_d^2 \equiv \frac{1}{T}\int_0^T \frac{u_d^2+u_s^2}{2}\cdot\frac{i_c^2+i_s^2}{2}\,dt - \frac{1}{T}\int_0^T \frac{u_c^2+u_s^2}{2}\,dt \cdot \frac{1}{T}\int_0^T \frac{i_c^2+i_s^2}{2}\,dt \quad 20)$$

$$P_d^2 \equiv \frac{1}{T}\int_0^T \left(\frac{u_c i_c + u_s i_s}{2}\right)^2 dt - \left[\frac{1}{T}\int_0^T \frac{u_c i_c + u_s i_s}{2}\,dt\right]^2 \quad (21)$$

$$Q_d^2 \equiv \frac{1}{T}\int_0^T \left(\frac{u_s i_c - u_c i_s}{2}\right)^2 dt - \left[\frac{1}{T}\int_0^T \frac{u_s t_c - u_c i_s}{2}\,dt\right]^2 \quad (22)$$

unde :

$$D^2 = P_d^2 + Q_d^2 - S_d^2 \equiv -P^2 - Q^2 + S^2 \quad (23)$$

Definim funcția impedanță astfel :

$$Z(t) = \sqrt{\frac{u_c^2(t)+u_s^2(t)}{i_c^2(t)+i_c^2(t)}} \quad (24)$$

a cărei variație este reprezentată în figura 4. Mai definim funcțiile factor de putere activ și reactiv prin relațiile :

$$k_p(t) = \frac{p(t)}{s(t)} = \frac{u_c i_c + u_s i_s}{\sqrt{\frac{u_c^2+u_s^2}{2}\cdot\frac{i_c^2+i_s^2}{2}}} \quad (25)$$

$$k_q(t) = \frac{q(t)}{s(t)} = \frac{u_c i_s - u_s i_c}{\sqrt{\frac{u_c^2+u_s^2}{2}\cdot\frac{i_c^2+t_s^2}{2}}} \quad (26)$$

Variația acestei funcții este reprezentată în figura 5. Curbele din figura 3—5 pot caracteriza variațiile bruște și lente, deformarea tensiunilor și curenților — deci calitatea energiei electrice.

3. Concluzii

În lucrare s-au propus indicatori pentru caracterizarea calității energiei electrice, pentru a stabili cauzele perturbațiilor care provoacă abaterea de la calitatea energiei electrice. În acest mod se pot găsi metodele de ameliorare a parametrilor de calitate a energiei electrice (eliminarea perturbațiilor dintr-un sistem energetic) și se pot stabili exigențele corespunzătoare valorilor admisibile ale parametrilor de calitate a energiei electrice și valorile lor optime. Metoda propusă caută să micșoreze efectele tehnico-economice și sociale ale abaterilor de la calitatea energiei electrice.

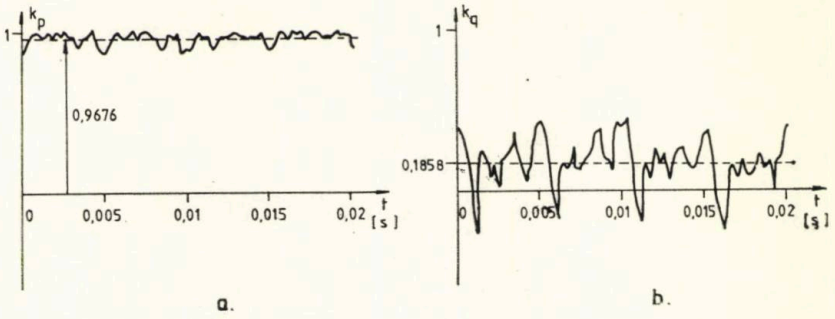


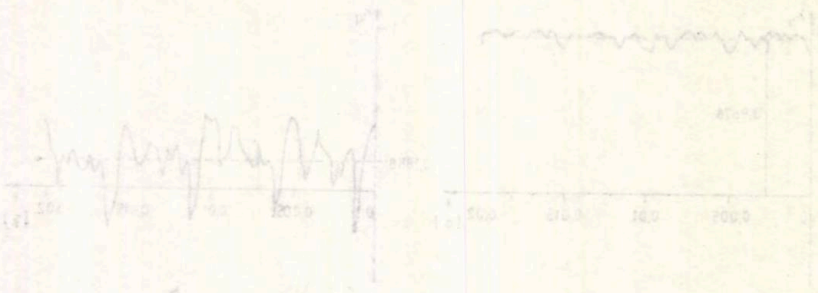
Fig. 5 — Caracteristicile $k_p(t)$ şi $k_r(t)$

BIBILOGRAFIE

1. *I. S. Antoniu, I. N. Chiuţă*, Un nou mod de demonstrare a principiului separării puterilor în regim energetic deformant. Conferinţa Naţională de Electrotehnică şi Electroenergetică, vol. 1, Bazele Electrotehnicii, Timişoara, 17—18 septembrie 1982.
2. *I. S. Antoniu, I. N. Chiuţă*, Eine neue Beweismethode zum Prinzip der Leistungstrennung bei verzertem Betriebszustand, 29 Intern. Wiss. Koll. TH Ilmenau 1984, Vortragsreihe „Theoretische Elektrotechnik" S 15—18.
3. *I. N. Chiuţă, D. R. Gheorghiade*, Une nouvelle méthode pour la détermination des grandeurs énergétiques dans un régime énergétique déformant, Comunicare la Academia R. S. R., 28 februarie 1985

A New Method for Determining Quality Indicators of Electric Power

This paper proposes to introduce a small number of quality indicators for electrical power. These indicators are required for measuring and pre-determining the effects of such consumers wich are disbalanced, asymmetrical and distorting, on the supllying network in order to establish measures for improving the quality of power supply in the electrical network.



C.Z.: 658.5 : 621.311
681.3.022

PROIECTAREA ORGANIZĂRII SISTEMELOR DE ENERGIE

A. CARABULEA*

Se prezintă problemele de proiectare a organizării şi se construiesc modelele agregat şi modelele pe funcţiuni în vederea optimizătii conceperii şi realizării obiectivelor energetice de mare putere.

Algoritmul prezentat înlesneşte transformarea organizării dintr-o problemă operaţională într-o problemă inginerească de proiectare şi finalizare optimală a sistemelor de energie.

1. Formularea problemei şi scopul lucrării

Pentru ca sistemele industriale conduse on sau off line să depăşească criza energetică şi să iasă din epoca risipei este necesar să se revadă strategia de organizare atît a structurilor cît şi a fluxurilor de energie. Revederea strategiilor de construire a obiectivelor energetice mari sau mici trebuie făcută ţinînd seama de : concepţia sistemică în abordarea problemelor de organizare, de concepţia funcţională a fiecărui obiectiv încadrat într-un ansamblu general de subsisteme în interacţiune şi de echilibrare a costului cu valoarea de întrebuinţare a fiecărui element al sistemului proiectat. Concepţia realizării unui sistem sau subsistem de energie trebuie să decurgă din studiile de prognoză a marilor ansambluri energetice. Pe baza acestei concepţii se elaborează tema de proiectare a părţii de organizare şi se trece la construirea proiectului de execuţie cu detaliile corespunzătoare exigenţelor impuse de beneficiarul de investiţii. Partea operaţională a organizării sistemelor de energie trebuie să concretizeze concepţia organizării întregului sistem cercetat. Organizarea sistemelor de energie se proiectează după aceleaşi coordonate inginereşti ca şi tehnologia producerii, transportului şi utilizării energiei dar la elaborarea proiectelor trebuie analizate cu acurateţe problemele specifice ale acestei activităţi complexe.

Scopul lucrării constă, pe de o parte, în precizarea problemelor de organizare care se pot rezolva la nivelul cercetării-proiectării şi montajului obiectivelor energetice încă din faza de concepere respectiv extin-

* Prof. dr. ing., catedra Organizare şi conducere industrială

dere a unui sistem energetic de mare putere și optimizarea, pe de altă parte, a soluției de proiectare a organizării sistemelor de energie care au sau tind să aibă o structură informatizată. Structura informatizată a unui sistem cuprinde o rețea complexă Hard și un set de programe Soft care lucrează on line pregătind decizii în timp real pe baza datelor culese din exploatarea sistemului în funcțiune. Dezvoltarea sistemelor de energie reclamă proiectarea asistată de calculator a obiectivelor noi ținînd seama atît de experiența cîștigată în domeniu cît și de tendințele de pe plan mondial privitoare la organizarea sistemelor complexe. Alegerea soluției optime de organizare din mai multe variante posibile se face determinînd extremul funcționalelor din structura modelelor de cercetare operațională. Noua orientare în abordarea organizării sistemelor de energie va permite chiar în condițiile tehnologiei actuale de producere și utilizare a energiei să crească eficiența începînd cu proiectarea soluțiilor și închid cu exploatarea instalațiilor.

2. Problemele organizării sistemelor de energie

Problemele proiectării părții de organizare a sistemelor de energie sînt în principial următoarele :

— Proiectarea structurii sistemului în ideea concretizării configurației planului general al obiectivului cercetat.

— Proiectarea circuitelor tehnologice și informaționale atît pentru subsistemele din domeniu cît și pentru interfața sistemului cu mediul.

— Proiectarea organigramei personalului muncitor pentru toate stările prin care trece sistemul.

— Proiectarea schemelor de urmărire a activității de realizare a obiectivului și de exploatare optimală.

— Proiectarea schemelor de întreținere și reparație a instalațiilor furnizoare și a celor consumatoare de energie.

— Proiectarea normării și retribuirii muncii.

— Proiectarea schemelor de cibernetizare și robotizare a activității noului obiectiv.

— Proiectarea schemelor de încadrare a noului obiectiv în structura sistemului existent de energie.

— Proiectarea nivelelor de calitate și eficiență a întregii activități și concretizarea căilor pentru atingerea parametrilor prevăzuți.

— Proiectarea structurii deciziilor de declanșare a acțiunilor și de control a activităților pentru sisteme parțial sau total informatizate. În devizul proiectului trebuie să figureze concepția organizării pe funcții a sistemului și eforturile respectiv efectele implicate în realizarea noului obiectiv energetic.

Proiectarea obiectivelor trebuie realizată în concepție sistemică atît pe verticală, de la conceperea instalației la montaj și exploatare, cît și pe

orizontală de la sursă la consumator. Concepţia sistemică de abordare a fenomenelor vizează interdependenţa şi cooperarea între subsisteme şi între sistemul cercetat şi mediu. Această nouă orientare duce la o schimbare radicală de atitudine în ceea ce priveşte găsirea şi realizarea conexi-

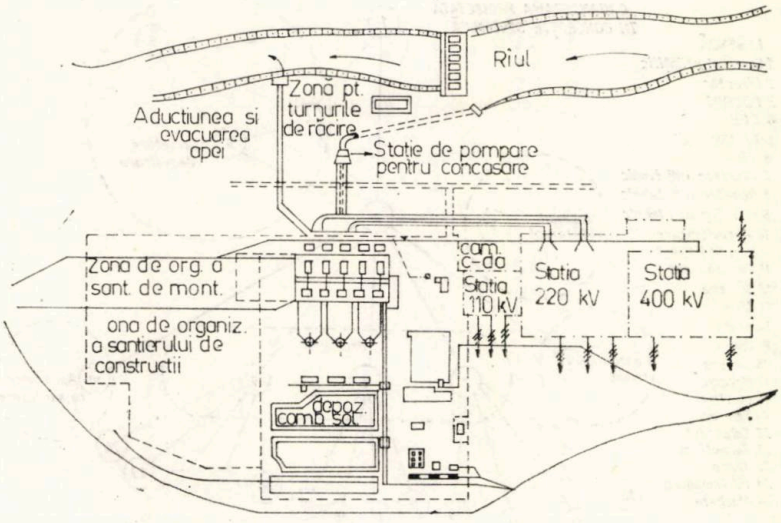


Fig. 1 — Planul general al unui C.E.T.

unilor esenţiale şi chiar a celor neesenţiale dintre sistemele proiectate şi domeniile pe care le reprezintă respectiv mediul în care vor funcţiona ca entităţi distincte atît pentru a generaliza modelele teoretico-aplicative elaborate într-un domeniu dat cît şi pentru a prelua şi adapta la problemele specifice, principii şi metode elaborate în alte domenii conexe cu cel studiat.

Proiectarea în concepţie sistemică a organizării obiectivelor energetice reclamă elaborarea unei soluţii optime atît pentru structura sistemului reflectată în planul general cît şi pentru configuraţia fluxului tehnologic-informaţional. Structura planului general al unei centrale termoelectrice concepute pe baza traseelor optimale între secţiile de producţie se poate urmări pe figura 1.

Proiectarea organigramei unui sistem de concepere a documentaţiei de transpunere în practică a investiţiei pentru centrale termoelectrice se face pe funcţiuni (cercetare-dezvoltare; aprovizionare-desfacere; producţie; personal şi financiar-contabilă). O grupare eficientă a activităţilor cu evidenţierea plasării posturilor în schemă, astfel ca să rezulte indicii corespunzători de centralitate-periferism şi puteri de iteraţie conforme, se dă în figura 2.

Proiectarea proceselor informatice PIC şi PAD la nivelul sistemelor de energie în vederea extinderii concepţiei integratoare de abordare a tuturor fenomenelor se poate urmări în figura 3.

Plecînd de la această schemă se pot elabora premizele cibernetizării și robotizării întregii activități atît la nivelul conducerii cît și la nivelul execuției, creindu-se astfel condiții pentru informatizarea parțială și chiar totală a sistemelor de energie de mare putere.

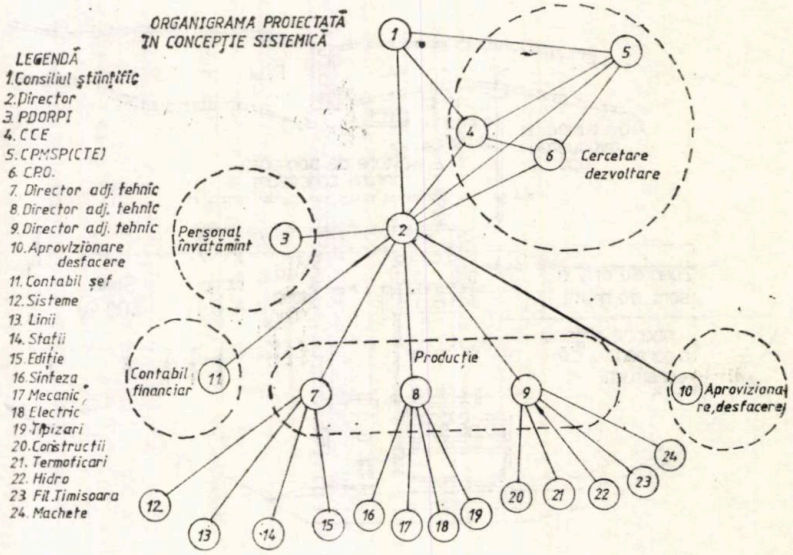


Fig. 2 — Organizarea proiectată în concepție sistemică

Pentru a constitui sîmburele concepției optimale de organizare a sistemelor de energie este necesar ca cercetarea în acest domeniu să fie orientată spre probleme fundamentale din care să decurgă problemele operaționale. Cercetarea fundamentală în problematica organizării trebuie axată pe teoria ordinii, pe teoria căutării, pe informatică și cibernetică, pe teoria deciziilor de grup și pe probleme de prognoză explorativ-normativă privind construirea strategiei de conducere a sistemelor informatizate. Matematica organizării raționale a sistemelor mari face apel la modelele cercetării operaționale, la modelele mulțimilor fuzzy, la modelele de tip markov și la modelele generale și specifice ale teoriei și ingineriei sistemelor mari. Transpunerea în practică a acestei familii de modele matematice reclamă construirea unei rețele hard off și on line, afilierea unui set de programe și aplicații de tip soft greu și ușor și elaborarea concepției orgware privind organizarea optimală a proiectării, montajului și exploatării atît a noului obiecttiv conceput cît și a întregului sistem cercetat.

3. Modele matematice ale organizării sistemelor de energie

Modelele matematice ale organizării sistemelor de energie cuprind în structura lor o funcțională și un set de restricții. Funcționala cuprinde variabile supuse optimizării. Restricțiile permit determinarea atît a li-

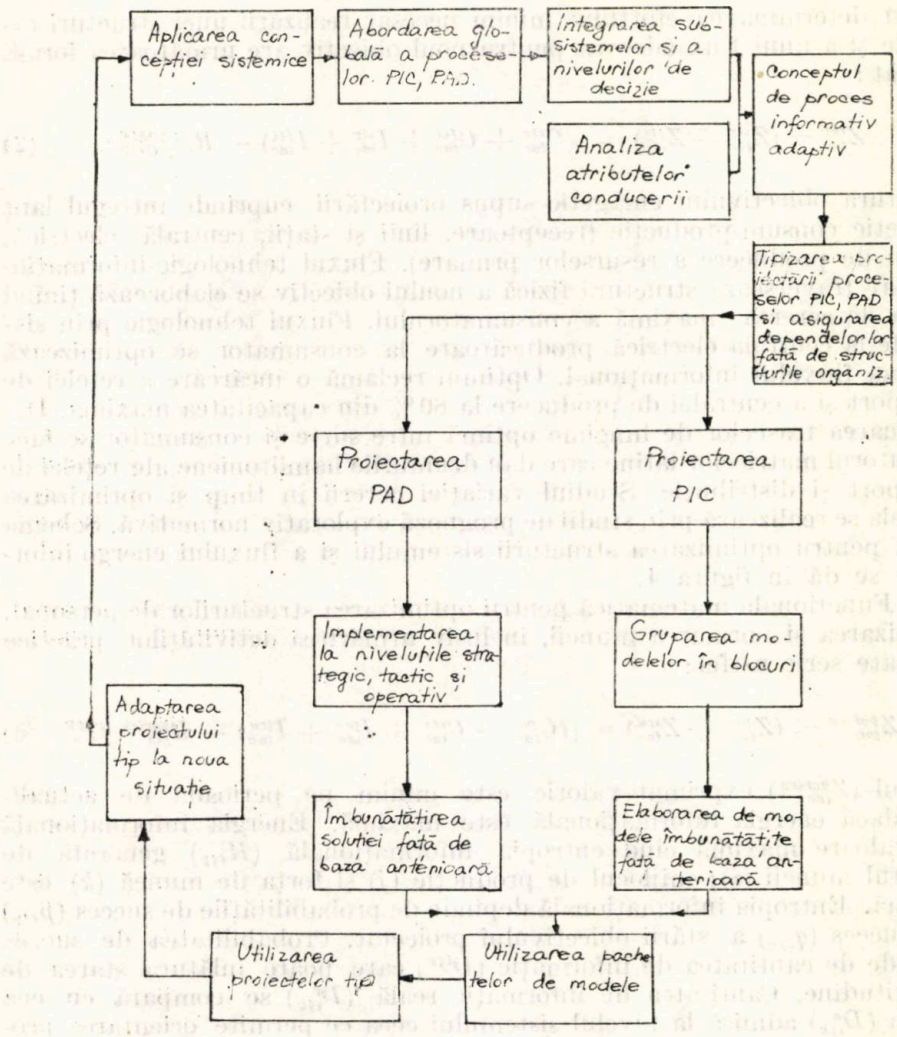


Fig. 3. — Proiectarea proceselor informatice PIC și PAD la nivelul sistemelor de energie

mitelor de variație a mărimilor din cadrul funcționalei cît și stabilirea algoritmului de rezolvare a problemei de extrem cu legături. Structura funcționalei matematice de proiectare (P), montaj (M) și exploatare (E) sistemică a obiectivelor energetice prin cercetări operaționale (COP) se poate scrie astfel:

$$Z^{org}_{tac_1} = (Z^{str}_{tac} + Z^{fti}_{tac} + Z^{por}_{tac} + Z^{irn}_{tac} + Z^{cri}_{tac} + Z^{ces}_{tac} + Z^{ies}_{tac} + Z^{tad}_{tac})^{PME}_{COP} \quad (1)$$

Restricțiile se referă la limitări ale mărimilor variabile în cadrul funcționalei ($Z^{org}_{tac_1}$) sub aspect calitativ și cantitativ tehnologico-funcțional și trebuie să concorde cînd se exprimă ca inegalități. Funcționala matematică

pentru determinarea efortului minim necesar realizării unei structuri raționale și a unui flux adecvat pentru noul obiectiv are următoarea formă agregat:

$$Z_{tac}^{rsf} = (Z_{tac}^{str} + Z_{tac}^{fti}) = [(C_{tac}^{str} + C_{tac}^{fti} + I_{tac}^{str} + I_{tac}^{fti}) - R_{tac}^{stf}]_{COP}^{PME}; \quad (2)$$

Structura obiectivului energetic supus proiectării cuprinde întregul lanț energetic consum-producție (receptoare, linii și stații, centrală electrică, centru de producere a resurselor primare). Fluxul tehnologic-informațional care traversează structura fizică a noului obiectiv se elaborează ținînd seama de cererea maximă a consumatorului. Fluxul tehnologic prin sistem de la centrala electrică producătoare la consumator se optimizează pe baza fluxului informațional. Optimul reclamă o încărcare a rețelei de transport și a centralei de producere la 80% din capacitatea maximă. Determinarea traseelor de lungime optimă între surse și consumator se face cu ajutorul matricelor latine care dau drumurile hamiltoniene ale rețelei de transport și distribuție. Studiul variației cererii în timp și optimizarea acesteia se realizează prin studii de prognoză explorativ-normativă. Schema logică pentru optimizarea structurii sistemului și a fluxului energo-informatic se dă în figura 4.

Funcționala matematică pentru optimizarea structurilor de personal, organizarea și normarea muncii, inclusiv urmărirea activităților practice se poate scrie astfel:

$$Z_{tac}^{poriru} = (Z_{tac}^{por} + Z_{tac}^{iru}) = [(C_{tac}^{por} + C_{tac}^{iru} + I_{tac}^{por} + I_{tac}^{iru}) - R_{tac}^{poriru}]_{COP}^{PME} \quad (3)$$

Efortul (Z_{tac}^{poriru}) exprimat valoric este minim pe perioada de actualizare dacă energia informațională este maximă. Energia informațională are valoare maximă cînd entropia informațională (H_{ijk}) generată de obiectul muncii (i); mijlocul de producție (j) și forța de muncă (k) este minimă. Entropia informațională depinde de probabilitățile de succes (p_{ijk}) și insucces (q_{ijk}) a stării obiectivului proiectat. Probabilitatea de succes depinde de cantitatea de informație (D^{ijk}) care poate înlătura starea de incertitudine. Cantitatea de informație reală (D_{ijk}^{r}) se compară cu cea etalon (D_{ijk}^{e}) admisă la nivelul sistemului ceea ce permite orientarea proiectării spre activități cu grade de perturbații minime.

Funcționala matematică pentru cibernetizarea și robotizarea sistemului în condiții de eficiență și calitate are următoarea formă sintetică:

$$Z_{tac}^{crices} = (Z_{tac}^{cri} + Z_{tac}^{ces}) = [(C_{tac}^{cri} + C_{tac}^{ces} + I_{tac}^{cri} + I_{tac}^{ces}) - R_{tac}^{crices}] \quad (4)$$

Cibernetizarea și robotizarea părții de organizare a sistemelor de energie începe cu studiul necesarului pentru rețele hard, soft și orgware și continuă cu implementarea acestora. După implementare se urmărește atingerea parametrilor proiectați și realizarea calitativă a producției în condiții de eficiență.

Funcționala matematică pentru optimizarea încadrării în sistem a obiectivului proiectat și pentru reproiectarea valorii de întrebuințare-inclusiv construirea deciziei finale pentru soluționarea problemelor de ore

ganizare se poate scrie sub următoarea formă agregat:

$$Z_{tac}^{iosiad} = (Z_{tac}^{ios} + Z_{tac}^{iad}) = [(C_{tac}^{ios} + C_{tac}^{iad} + I_{tac}^{ios} + I_{tac}^{iad}) - R_{tac}^{iosiad}] \quad (5)$$

În relațiile (1...5) intervin mărimile $Z_{tac_1}^{org}$ = cheltuielile totale actualizate implicate la proiectarea (P) părții de organizare a obiectivelor energetice

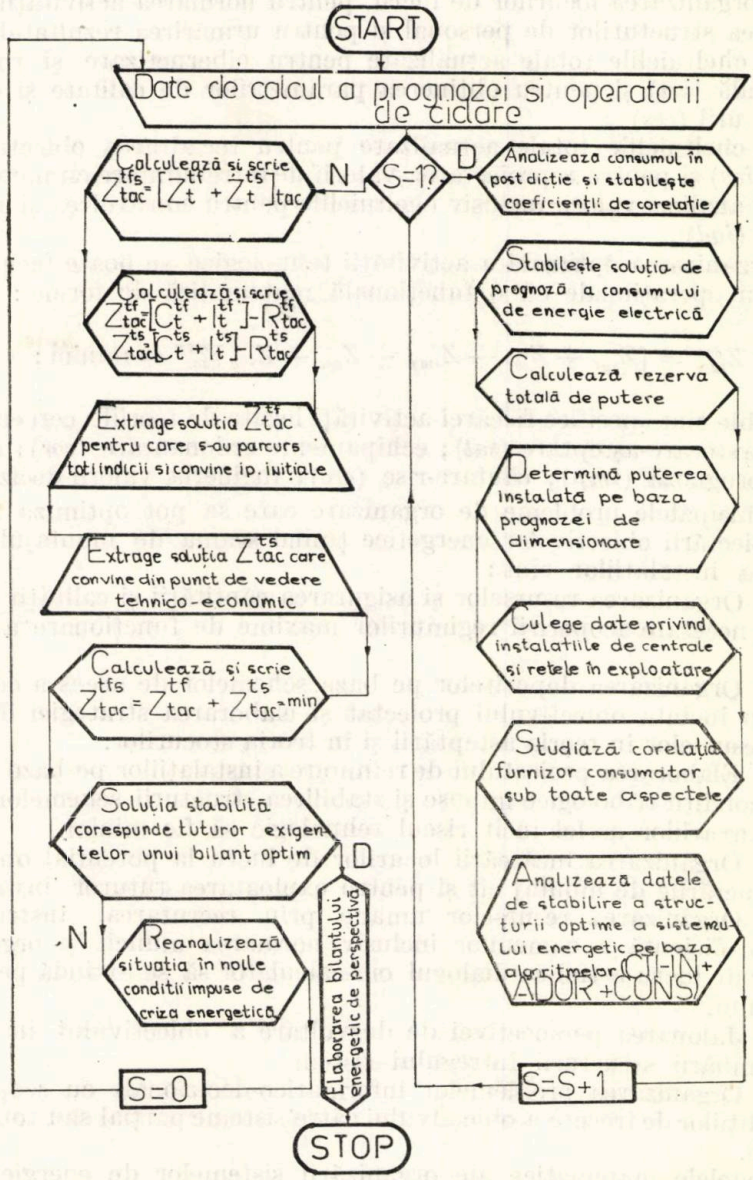


Fig. 4 — Schema logică privind optimizarea fluxului de energie și a structurii sistemului pe baze previzionale ale cercetării operaționale

ţinînd seama de problemele montajului (M) şi exploatării instalaţiilor (E).
Z_{tac}^{stf} = cheltuieli totale actualizate pentru organizarea structurii şi fluxului obiectivelor energetice proiectate. Ele se pot scrie sub forma cheltuielilor de producţie (C) şi a investiţiilor (I) inclusiv valoarea remanentă (R) afiliate structurii (str) şi fluxului tehnologico-informaţional (fti)
Z_{tac}^{poriru} = cheltuielile totale actualizate pentru proiectarea organigramelor, pentru organizarea locurilor de lucru, pentru normarea activităţii, pentru reînnoirea structurilor de personal şi pentru urmărirea rezultatelor.
Z_{tac}^{crices} = cheltuielile totale actualizate pentru cibernetizare şi robotizare industrială (cri) şi pentru obţinerea parametrilor de calitate şi eficienţă în timp util (ces)
Z_{tac}^{iosiad} = cheltuielile totale actualizate pentru încadrarea obiectivului în sistem (ios) şi pentru reproiectarea valorii de întrebuinţare cu metoda ingineriei şi analizei valorii inclusiv cheltuielile pentru construirea şi aplicarea deciziei (iad)

Organizarea optimală a activităţii tehnologice se poate face pe baza cercetării operaţionale cu o funcţională matematică de forma :

$$Z_{tac_2}^{org} = [Z_{sat} + Z_{eor} + Z_{imp} + Z_{crc} + Z_{ivd}]_{tac}^{PME} = \text{minim} ; \qquad (6)$$

Restricţiile sînt specifice fiecărei activităţi legate de teoriile cercetării operaţionale stocare-aşteptare (sat); echipamente-ordonanţare (eor); inginerie umană-prognoză (imp); căutare-risc (crc); ingineria valorii-decizie (ivd)

Principalele probleme de organizare care se pot optimiza încă din faza proiectării obiectivelor energetice ţinînd seama de montajul şi exploatarea instalaţiilor sînt :

— Organizarea resurselor şi asigurarea cantităţii şi calităţii combustibililor necesare acoperirii regimurilor maxime de funcţionare a instalaţiilor.

— Organizarea depozitelor pe baza schemelor de acces a combustibililor în incinta obiectivului proiectat şi elaborarea strategiei de transport a resurselor în teoria aşteptării şi în teoria stocurilor.

— Elaborarea proiectului de reînnoire a instalaţiilor pe baze terotehnice în condiţii tribologice impuse şi stabilirea structurii schemelor de preluare a avariilor astfel încît riscul tehnologic să fie minim.

— Organizarea încărcării locurilor de lucru la potenţial optim atît pentru lucrările de montaj cît şi pentru exploatarea tuturor instalaţiilor.

— Organizarea resurselor umane prin recrutarea, instruirea şi folosirea eficientă a oamenilor inclusiv normarea muncii şi organizarea locurilor de lucru astfel ca dialogul om-calculator să se extindă pe măsura necesarului.

— Jalonarea perspectivei de dezvoltare a obiectivului în contextul schimbării structurii întregului sistem

— Organizarea problemelor informatico-decizionale cu scopul creării condiţiilor de trecere a obiectivului către sisteme parţial sau total informatizate.

Modelele matematice ale organizării sistemelor de energie se pot elabora pe funcţiuni ale acestora şi pe teorii ale cercetării operaţionale după cum urmează :

— Funcţia de cercetare-dezvoltare operează cu modele din teoria prognozei fluxului şi structurii sistemului (Z_{pr}); modele în teoria căutării şi riscului (Z_{cr}), modele în teoria catastrofelor (Z_{tc}) modele în teoria deciziei (Z_{td}) şi modele pentru situaţii noi (neprevăzute) (Z_{dv}).

$$Z_{tac}^{cd} = (Z_{pr} + Z_{cr} + Z_{tc} + Z_{td} + Z_{dv})_{tac}^{PME} \tag{7}$$

— Funcţia de aprovizionare-desfacere face apel la modelele matematice în teoria stocurilor (Z_{st}), modele matematice în teoria aşteptării (Z_{as}), modele matematice în teoria marketingului (Z_{mi}) şi modele matematice în teoria deciziei inclusiv modele în teoria riscului (Z_{td} ; Z_{tr}).

$$Z_{tac}^{ad} = [Z_{st} + Z_{as} + Z_{mi} + Z_{tr} + Z_{td}]_{tac}^{PME} \tag{8}$$

— Funcţia de producţie operează cu modele matematice în teoria echipamentelor (Z_{ep}); modele matematice în teoria ordonanţării (Z_{or}), modele matematice în teoria controlului calităţii produselor şi proceselor (Z_{tc}), modele matematice de risc (Z_{tr}) şi modele matematice de decizie (Z_{td}).

$$Z_{tac}^{pr} = [Z_{ep} + Z_{or} + Z_{tc} + Z_{tr} + Z_{td}]_{tac}^{PME} \tag{9}$$

— Funcţia de personal face apel la modele ale ingineriei umane cum ar fi : modele de recrutare, instruire şi promovare a personalului (Z_{rpp}), modele de organizare a locului de lucru (Z_{oll}), modele de normare a activităţilor efectorii şi de conducere (Z_{nac}), modele de optimizare a dialogului om-calculator (Z_{doc}) şi modele de decizie inclusiv cele de risc (Z_{tdr}).

$$Z_{tac}^{pe} = [Z_{rpp} + Z_{oll} + Z_{nac} + Z_{doc} + Z_{tdr}]_{tac}^{PME} \tag{10}$$

— Funcţia financiar-contabilă face apel la următoarele clase de modele ale cercetării operaţionale : modele matematice în ingineria şi analiza valorii (Z_{iav}), modele matematice în teoria costurilor (Z_{tc}), modele matematice în teoria deciziei (Z_{td}) inclusiv modele de eficienţă, calitate şi risc (Z_{ec} ; Z_{tr}).

$$Z_{tac}^{fc} = [Z_{iav} + Z_{tc} + Z_{td} + Z_{ec} + Z_{tr}]_{tac}^{PME} \tag{11}$$

Fiecare model conţine atît activităţile de proiectare (P) cît şi pe cele de montaj (M) inclusiv activităţile de exploatare (E). Schema logică pentru aplicarea în practică a modelelor de optimizare a organizării sistemelor de energie în teoriile cercetării operaţionale se dă în figura 5.

Pe baza modelelor matematice prezentate şi a schemei logice din figura 5 se alege varianta optimă de proiectare a organizării obiectivelor energetice. Varianta optimă trebuie transpusă în practică pe baza documentaţiei de proiectare. Pentru montaj şi exploatare se prevăd cheltuieli în devizul proiectului atît pentru organizarea activităţii cît şi pentru riscul tehnologic. În cadrul proiectului de organizare a activităţilor energetice este

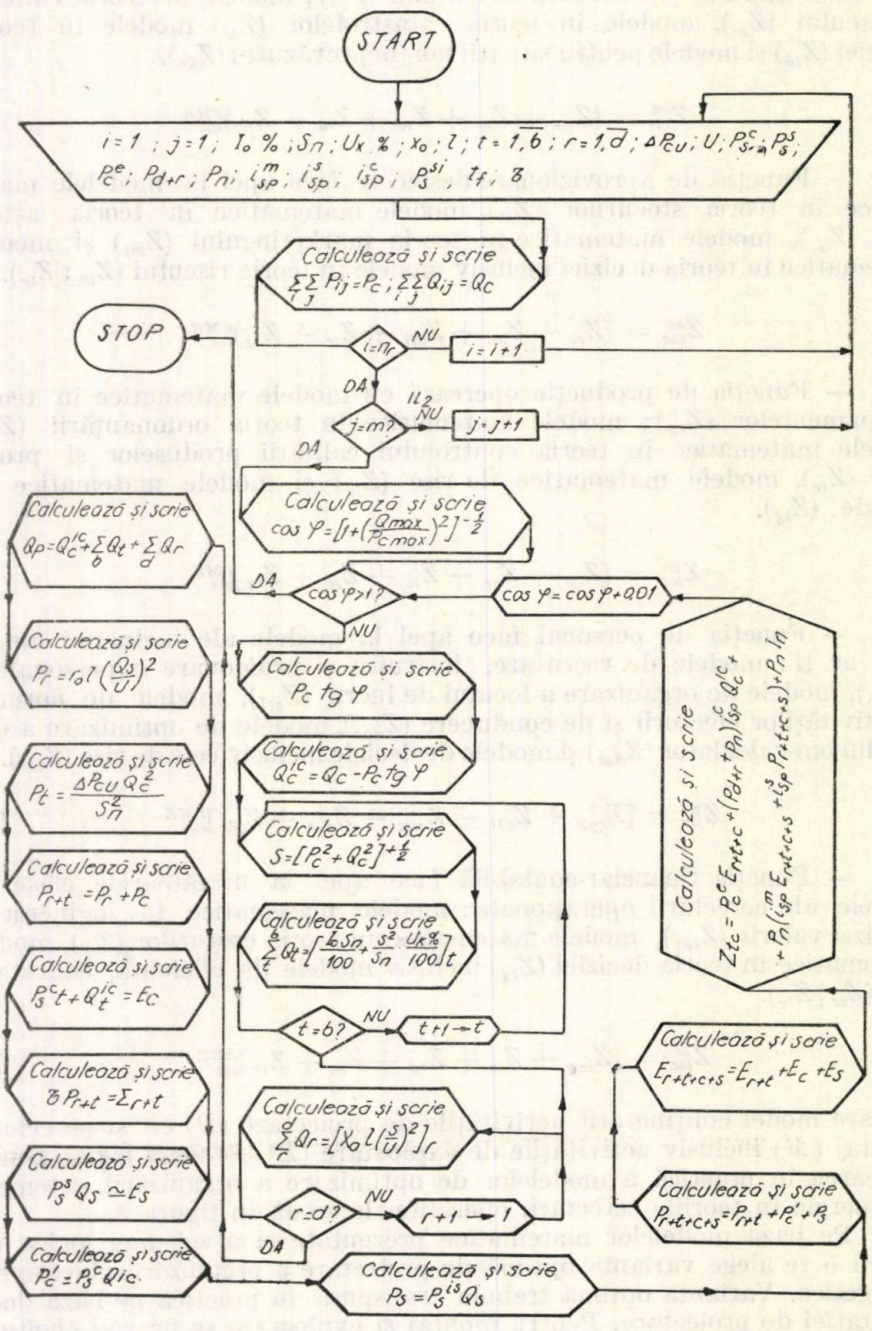


Fig. 5 — Schema logică pentru optimizarea factorului de putere

necsar să se abordeze şi problemele de cirbernetizare şi robotizare. Cibernetizarea reclamă formarea reţelei hard, elaborarea setului de programe soft şi transpunerea în practică a soluţiei prin tehnica orgware.

4. Cibernetica organizării sistemelor de energie

4.1. *Concepţia cibernetizării sistemelor ierarhizate*

Cibernetica organizării sistemelor de energie trebuie să cuprindă: cibernetica organizării locurilor de lucru şi a secţiilor de producţie în care robotizarea activităţilor este sîmburele concepţiei de proiectare; cibernetica organizării subsistemelor şi sistemelor energetice (întreprindere, centrală industrială, dispecer teritorial şi central etc.) în care dialogul om-calculator se plasează în miezul exploatării întregului ansamblu energetic; cibernetica organizării sistemului de energie la nivel naţional ţinînd seama de relaţiile impuse la frontierele acestuia de sistemele de energie din alte ţări.

Cibernetica organizării ierarhice a activităţilor energetice pe verticală (proiectare-montaj-exploatare) şi pe orizontală (producţie-transport şi consum de energie) reclamă proiectarea informaticii atît sub aspectul reţelei de calculatoare cît şi sub aspectul fluxului de informaţii. În această ordine de idei se începe cu proiectarea părţii hard a informaticii şi se continuă cu elaborarea părţii soft. Proiectarea hardului se referă la precizarea structurii reţelei de culegere, prelucrare şi transmitere a datelor şi la alegerea tipurilor de calculatoare on şi in line. Proiectarea softului cuprinde concepţia şi structura programelor de calcul şi aplicaţiile pe probleme ţinînd seama de corelaţia dintre funcţiile sistemului analizat.

Conceperea schemelor cibernetice de organizare a sistemelor de energie şi implementarea acestora cad sub incidenţa unor echipe interdisciplinare de specialişti (automatişti, energeticieni, matematicieni, analişti-programatori etc.), care urmăresc realizarea şi exploatarea structurilor sistemelor energo-cibernetice în condiţii de maximă eficienţă.

Organizarea sistemului trebuie să reflecte integral concepţia de proiectare şi să conducă în condiţii reale de execuţie a programelor, prin intermediul roboţilor, la perturbaţii minime. Perturbaţiile se cuantifică cu ajutorul entropiei informaţionale care serveşte apoi la determinarea gradului de organizare a structurii proiectate în raport cu structura etalon.

Conducerea unei structuri organizatorice dotată cu roboţi se poate realiza pe două bucle de reacţie una la nivelul conducerii operative strîns legate de execuţie deci de robotizare, iar cealaltă la nivelul conducerii strategico-tactice legate de centrul decizional. Schema logică a conducerii structurilor organizatorice prin două bucle de reacţie se dă în figura 6.

Gradul de organizare este maxim dacă perturbaţia din buclele robotizate este minimă. Minimizarea entropiei reclamă proiectarea roboţilor pe tipuri exacte de mişcări şi conducerea lor pe baze cibernetice.

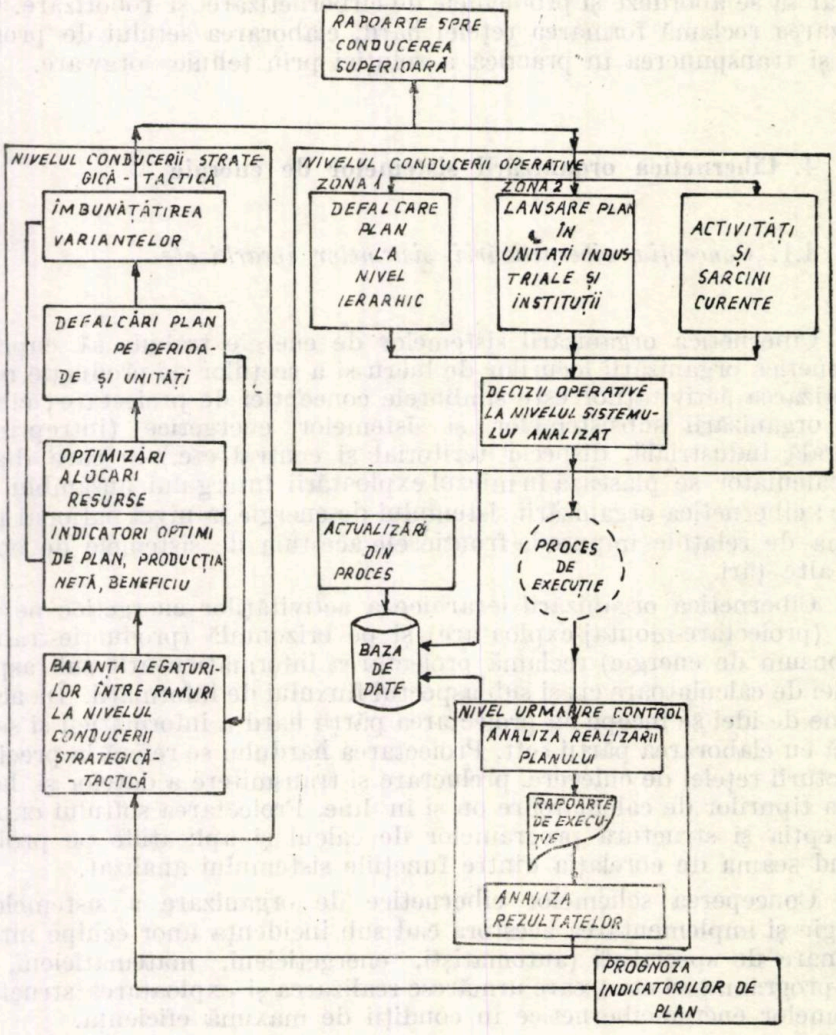


Fig. 6 — Schema logică a activităţiilor de conducere la nivelele strategico tactice, operative şi urmărire-control

4.2. *Fenomenologia, modelele şi strategia robotizării structurilor energetice*

Roboţii sînt proiectaţi pentru executarea mişcărilor de translaţie şi rotaţie pe bază de program automat. Astfel, robotul controlează coordonatele spaţiale, viteza şi acceleraţia unui dispozitiv capabil să execute diverse mişcări de natura celor executate de oameni. Deci robotul implică conceptul de programabilitate care-i permite să efectueze diverse operaţii pe baza programelor memorate. El face trecerea de la automatizarea rigi-

dă la cea flexibilă într-un domeniu refractar soluțiilor clasice de manipulare și deplasare a pieselor. În structura sistemelor flexibile robotul poate înlocui omul atît ca element de legătură între mașinile de prelucrare cît și ca element de coordonare a proceselor industriale. Prin roboți se poate controla precizia de prelucrare a pieselor în timp real ceea ce elimină neajunsurile controlului pasiv aplicat după terminarea pieselor. Robotul nu trece la pasul următor de prelucrare dacă precizia și calitatea impusă nu corespund exigențelor programate. Robotul programabil este reprezentantul tipic al generațiilor noi de mașini asistate de calculator.

Programul de asimilare a roboților în industria românească cuprinde : asimilarea de roboți flexibili ; proiectarea și executarea elementelor din structura roboților flexibili și crearea sistemelor tehnologice cu roboți industriali. Prin robot flexibil se înțelege dispozitivul automat care se poate adapta ușor la schimbări ale procesului și poate urmări precizia realizării produselor în condiții economice. Introducerea integrală a roboților într-un anumit domeniu conduce la realizarea sistemelor automate. În astfel de sisteme informatizate robotul industrial se dovedește mai exact și mai sigur în intervenții decît operatorul uman. În sistemele automate se face apel integral la automatizările flexibile ceea ce duce la o evoluție calitativă a proceselor de producție. In aceste sisteme atît proiectarea cît și producția sînt asistate integral de calculator.

În țara noastră s-a trecut la asimilarea a trei familii de roboți (6,3— —25—63 daN). Prima clasă de roboți de 6,3 daN construită în coordonate polare execută mișcări de rotație fiind destinată montajului și manipulărilor în sistemele tehnologice simple. A doua clasă de roboți de 25 daN realizată în coordonate cilindrice este adecvată deservirii mașinilor unelte. A treia familie de roboți, 63 daN, realizată în coordonate sferice, se recomandă pentru sudură și manipulări grele.

Introducerea roboților industriali reclamă : realizarea unor noi sisteme tehnologice ; schimbarea tehnologiei prin reînnoirea ei totală ; conceperea unor instalații energotehnologice cu performanțe ridicate. Roboții programabili pot realiza diverse clase de lucrări în funcție de conținutul softului dar ei nu pot crea ordine, nu pot reacționa la perturbații neprevăzute în program și nu pot formula decizii decît în limita instrucțiunilor primite de la operatorul uman.

Crearea unui sistem tehnologic cu roboți implică :

— Utilizarea completă și eficientă a roboților la muncile programate fără a depăși limitele impuse.

— Realizarea magaziilor de intrare-ieșire din sistem care reglementează atît intrarea cît și ieșirea pieselor din conturul operativ de lucru al roboților.

— Conceperea și aplicarea dispozitivelor de control în cadrul desfășurării procedeului.

— Realizarea senzorilor de diferite tipuri cum ar fi : senzori de proximitate, cei tactili, cei vizuali și senzori specializați pe alți parametri tehnologici. Prin senzor se înțelege un traductor care transformă un parametru al procesului tehnologic într-un semnal adresat sistemului de comandă al robotului. Printre problemele mai grele privitoare la realizarea senzorilor se impun atenției miniaturizarea elementelor acestora și asigurarea funcționării lor în condiții dure impuse de procesul tehnologic.

— Verificarea modului în care utilajele tehnologice din sistem corespund cerinţelor de funcţionare în ciclu automat. Această operaţie reclamă înzestrarea maşinilor cu comandă-program, care trebuie să cuprindă toate manevrele de deservire a utilajului.

— Obţinerea unui rezultat economic la înălţimea cerinţelor în condiţii de implementare impuse sistemului de mediu. Problema înlocuirii unui număr de muncitori cu un robot supravegheat de un tehnician electronist trebuie privită sub toate aspectele astfel ca efectele directe şi cele de interfaţă să fie mai mari sau cel puţin egale cu eforturile cerute de implementarea robotului pentru ca soluţia de robotizare să fie acceptată. Eficienţa roboţilor se face în două ipostaze şi anume : compararea tehnologiei cu roboţi cu tehnologia în care operaţiile se execută manual şi raportarea tehnologiei cu roboţi la un sistem automat specializat. În primul caz se pleacă de la ideea că un robot poate înlocui (2÷3) muncitori pe schimb adică (6÷9) lucrători în trei schimburi. Cheltuielile orare de utilizare a unui robot cu şase grade de libertate nu depăşesc o treime din retribuţia orară a unui muncitor inclusiv adaosurile la retribuţie şi cota parte din cheltuielile de conducere a atelierului. În astfel de situaţii investiţiile făcute pentru robotizare se recuperează pe seama economiilor în circa un an şi jumătate. Pentru situaţia construcţiilor de maşini din ţara noastră, investiţiile necesare robotizării la nivelul anilor 1984—1985 se pot recupera în circa patru ani.

În cazul raportării tehnologiilor cu roboţi la un sistem cu automatizare convenţională se constată că investiţiile pentru robotul industrial se recuperează în ţările în curs de dezvoltare mai încet decît eforturile băneşti reclamate de automatizarea rigidă. Experienţa mondială arată că roboţii pot deveni eficienţi chiar în comparaţie cu automatizarea rigidă dacă sistemele de comandă ale acestora sînt evaluate la cel mult 50% din costul total.

— Formularea unei strategii tehnico-economice privind introducerea roboţilor industriali trebuie să ţină seama de următoarele idei : roboţii trebuie introduşi în acele sisteme industriale în care pe lîngă eficienţa economică intervin şi alţi factori prioritari scoaterii omului din astfel de medii ; introducerea roboţilor se face numai dacă s-a reuşit o comparaţie a soluţiilor din toate punctele de vedere şi a rezultat un efect tehnico-economic bun pentru noua tehnologie robotizată ; introducerea roboţilor în industria românească trebuie să se facă ţinînd seama de experienţa mondială în domeniu astfel ca programul să fie eficient în condiţiile de cost predeterminat.

— Abordarea robotizării proceselor de producţie trebuie să aibă în vedere că prin flexibilitatea sistemelor tehnologice se urmăreşte nu atît obţinerea unei economii imediate dar mai ales creşterea şanselor de a realiza economii în viitor pe baza acumulării de informaţii tehnologice care să poată fi valorificată pe perioade lungi cu efecte deosebit de favorabile tehnologiilor cu roboţi.

Prin robot industrial se înţelege o maşină automată, programabilă care poate efectua lucrări simple, repetitive pe baza unui număr minim de legături cu mediul în care lucrează. Echipamentele de calcul fabricate în

țara noastră pentru programul de roboți industriali au ca unitate de bază minicalculatoarele Coral 4001 și ca interfață de proces automatul programabil AP 117. Soluția de instruire- programare pentru roboții românești este bazată pe repetare și presupune existența unui pupitru de instruire prin care se asigură deplasarea, viteza, forma traiectoriei și corectarea programului de lucru. Cele 51 de instrucțiuni și comenzi prin care operatorul uman realizează un program robot se clasifică astfel : instrucțiuni pentru controlul deplasării robotului ; instrucțiuni de lucru inclusiv cele pentru urmărirea programului, instrucțiuni de intrare-ieșire care preiau și emit semnale către și dinspre procesul tehnologic și instrucțiuni pentru afișarea și execuția unui proces de lucru. Pentru roboții românești s-au elaborat programe de scurtare a intrărilor din proces, programe de gestiune a fișierului robot, programul interpretator care asigură comanda mișcărilor robotului ș. a. Toate programele reunite formează sistemul integrat MINOS- scris în limbaj asambler pentru minicalculatorul CORAL. Efortul necesar pentru elaborarea unui asemenea program integrat este echivalent cu munca a trei programatori timp de un an.

Problema conducerii unui sistem înzestrat cu roboți industriali se formează matematic astfel :

$$X = A(x) + B \cdot U ; \quad Y = C(X) ; \quad Z = D(X) \tag{12}$$

$X \in R^n$ = starea mecanică (poziția și viteza robotului) ; $U \in R^n$ = comanda ; $Y \in R^n$ = măsura poziției și vitezei ; $Z \in R^n$ = calitatea orientării robotului în sistemul fix de coordonate.

Proiectarea strategiei de conducere pentru roboții industriali constă în alegerea unui model al manipulatorului corelat cu conducerea cu model geometric, conducerea cu model cinematic și conducerea cu model dinamic. Generarea primelor două clase de modele nu ridică probleme pentru configurații simple de roboți. La configurații complexe se aplică modelul dinamic. Metodologia de proiectare asistată de calculator cuprinde : generarea automată a modelelor pe calculator, simplificarea modelului prin evaluări numerice, stabilirea algoritmului de rezolvare, găsire și implementare a soluției de conducere optimală a sistemului înzestrat cu roboți industrali în asistența coordonată a calculatorului central de proces.

Conducerea cauzală a robotului se exprimă cu ajutorul ecuației de legătură dintre comandă $\bar{u}(t)$; mărimile de execuție $\gamma(t)$; numărul gradelor de libertate $\bar{\theta}(t)$ și calitatea obiectului final $\bar{Z}(t)$. Formularea problemei de conducere a robotului industrial are următorul conținut : se dă un model al sistemului articulat, un model al universului și o descriere a sarcinilor, se cere formularea comenzii astfel ca robotul să parcurgă traiectoria impusă în condiții de maximă eficiență.

Practic, evenimentele se succed astfel : transferul problemei către robot ; completarea informației a priori și executarea sarcinilor impuse, determinarea eficienței și calității algoritmului de conducere pe baza rezultatului obținut.

Dintre algoritmele de conducere a roboților industriali reținatenția următoarele : algoritm cu model geometric ; algoritm cu model cinematic ;

algoritm cu model dinamic. Ultimul tip de algoritm se pretează la robotizarea sistemelor tehnologice complexe întrucît poate imprima roboţilor viteze adecvate de lucru. Modelul dinamic poate fi generat automat atît prin aplicarea tehnicii de programare simbolică cît şi prin utilizarea metodelor clasice ale mecanicii analitice (ecuaţiile Newton — Euler; Lagrange Hamilton; D'Alembert etc.). Modelul lagrangean are următoarea structură matematică:

$$[A]\ddot{\bar{\theta}} + [B]\dot{\bar{\theta}}^2 + [C]\dot{\bar{\theta}} = \bar{Q}(\bar{\theta}) + \bar{\gamma}_\theta \tag{13}$$

în care: A, B, C = matricile coeficienţilor forţelor inerţiale, respectiv centrifuge şi ale coeficienţilor de cuplaj Coriolis; $\bar{Q}$ = vectorul forţelor de greutate; γ_θ = vectorul forţelor externe aplicate sistemului.

Dintre algoritmii de rezolvare a modelului (13) reţin atenţia următorii algoritm pentru rezolvarea modelului simplificat $[A = f(Q, \gamma)]$: algoritm de rezolvare a modelului canonic $X(t) = A(x, t) + B(x, t)U(t)$; $Y(t) = C(x, t) + D(x, t)U(T)$; algoritm pentru conducere predictivă; algoritm pentru conducerea adaptivă şi algoritm pentru conducerea pe model dinamic recursiv (permite eliminarea erorilor la fiecare pas); algoritm pentru conducerea numerică aplicat în prezent la comanda maşinilor unelte. Aplicarea unui anumit algoritm de conducere depinde de concepţia constructiv-funcţională a roboţilor, de capacitatea sistemului de a furniza informaţii, de gradul de cunoaştere a modelului agregat şi a sistemului de acţionare.

Caracterul neliniar al sistemului înzestrat cu roboţi industriali determinat de structura sa şi de regimul de funcţionare condiţionat de mediu reclamă includerea în strategia de conducere a funcţiilor de reglare, a celor de decizie, a celor de învăţare, a celor de recunoaştere a formelor, a funcţiilor care asigură robotului un anumit grad de inteligenţă şi a celor legate de autoorganizarea întregului sistem. Pentru roboţii industriali destinaţi să execute operaţii complexe se rezervă cîte un microcalculator pentru fiecare grad de libertate şi cîte un minicalculator pe fiecare nivel ierarhic superior de conducere. În acest fel se asigură acurateţea execuţiei, se reglează în timp real perturbaţia, se coordonează mişcările în funcţie de gradul de instruire a robotului şi se organizează optimal coducerea sistemului pe traiectoria dorită.

Sistemele tehnologice complexe pot, avea în componenţa lor diverse tipuri de roboţi din diferite generaţii specializaţi pe probleme care necesită pentru rezolvare nivele impuse de inteligenţa artificială. În acest context, prin robot industrial trebuie înţeles un dispozitiv fizic capabil să execute operaţii tehnologice pe baza unor însuşiri umane cum ar fi: adaptarea, autodeterminarea, învăţarea, reprezentarea fidelă a corelaţiilor sistemului cu mediul, predicţia, planificarea activităţii pentru atingerea unui scop şi interpretarea rezultatelor în funcţie de gradul inteligenţei artificiale încorporată în robot. Prin robotică se înţelege un mod de a efectua anumite activităţi fizice sau intelectuale folosindu-se programe-robot, maşini-robot şi sisteme-robot.

Roboţii, indiferent de generaţie, au următoarele funcţii: acţiune, percepţie, comunicare şi coordonare a primelor trei funcţii. În funcţie de

complexitatea, performanţele, gradul de dezvoltare şi integrare a acestor funcţii deosebim roboţi din patru generaţii (1 ; 1,5 ; 2 şi 3). Prima generaţie de roboţi este programabilă şi se utilizează la operaţii de mică precizie cînd nu se schimbă condiţiile de mediu. Ei se folosesc la vopsire, sudură, tăiere cu flacără, turnare, manipulare grosieră. (Exemple : Unimate SUA ; RIP6,3 RSR şi ASEA-Suedia). Generaţia 1,5 este înzestrată cu senzori simpli între mărimile măsurate şi cele impuse de mediu. Se recomandă pentru asmablare, triere, ambalare etc. (Exemple : Hitachi-Japonia).

Roboţii din generaţia 2 dispun de funcţii evoluate de percepţie, interpretare şi coordonare a acestora cu elementele efectorii pe baza senzorilor (video, sonor etc.). Ei se pot utiliza la montaj, control de calitate şi în alte activităţi (Exemple : Hitachi — Japonia, Sight-1 şi Consight-1 SUA). Generaţia 3 de roboţi dispune de funcţii care pot rezolva anumite probleme pe baza unui model al lumii reale, a capacităţii de abstractizare şi generalizare, de deducţie sau inducţie, pe baza unor cunoştinţe şi scheme privind comportamentul, capacitatea de planificare, coordonare şi realizare a planului generat (Exemple : Shakey — realizat în SUA în 1973 la Stanford Research Institute ; Hilaire-Franţa 1977 ; Iason Berkeley SUA ; Strips-Stanford SUA ; SHRDLU-URSS ; BUILD ; PULP-1 ; NOAH ; ARGONIS-1 şi ANA). ANA este destinat modului de însuşire a cunoştinţelor de către un alt robot. El poate organiza activitatea într-un atelier pe baza unui program dat. În prezent există roboţi cu inteligenţa artificială performanţă în domeniul medicinii, în proiectarea asistată de calculator, dar care se vor extinde în mediul industrial ihtr-un viitor nu prea îndepărtat.

Aplicaţiile roboticii se împart în două clase şi anume : aplicaţii la care roboţii sînt practic indispensabili (medii nocive ; proteze pentru handicapaţi, medii submarine ; industria exploziilor nucleare, explorări spaţiale etc.) ; aplicaţii în care roboţii duc la soluţii eficiente sub aspect tehnico-economic (sudură, vopsire, forjare, turnare asamblări mecanice ; controlul calităţii produselor, deservirea unei maşini unelte etc.)

Saltul calitativ care se urmăreşte în robotică constă din trecerea de la programarea mişcării robotului la sfera obiectivelor de executat. Rezolvarea problemelor practice de sisteme-robot reclamă predeterminarea operaţiilor concrete care trebuie executate, comandarea acţiunii pentru executarea planurilor şi interpretarea rezultatelor pe baza programelor de soluţionare a situaţiei urmărite.

Programul pentru roboţi este similar cu cel pentru calculator avînd în plus instrucţiuni care comandă acţiunile robotului. Programarea roboţilor se face netextual (prin repetare) şi textual. În primul caz programarea este similară cu cea a unui calculator cu deosebirea că instrucţiunile se introduc paralel cu conducerea robotului prin poziţiile pe care trebuie să treacă spre execuţie. Acest tip de programare se aplică în cazul situaţiilor simple. Cînd complexitatea aplicaţiilor creşte se apelează la programarea textuală care scrie acţiunile într-un limbaj simbolic şi permite executarea separată a programării şi conducerii robotului. Programul robotului trebuie să conţină două părţi, una pentru descrierea lumii şi alta pentru descrierea acţiunilor. Sistemul ierarhic de programare a roboţilor cuprinde :

schema de formulare a obiectivului, capacitatea robotului inteligent de a genera un plan de acţiuni pentru realizarea obiectivului, robot specializat dotat cu inteligenţă artificială, robot programabil, robot abstract şi robot real — fiecare cu programul lui specific. Robotul real execută operaţiile tehnologice pe baza instrucţiunilor primite din sistemul ierarhic, robotul abstract asigură portabilitatea sistemului (mişcare, control, calcul privind precizia execuţiei şi verificarea calităţii). Robotul programabil conţine instrucţiunile pentru robotul abstract. Robotul specializat inteligent execută programe pentru operaţii specifice unui domeniu pe baza unei secvenţe de lucrări tehnologice. El realizează trecerea calitativă de la mişcare la execuţii tehnologice. Robotul inteligent elaborează planuri de acţiuni în vederea atingerii obiectivelor propuse.

5. Concluzii

Proiectarea organizării sistemelor de energie reclamă formularea problemelor de bază ale obiectivelor noi şi abordarea sistemică a acestora începînd cu sursa primară de energie şi terminînd cu consumatorii de resusre energetice.

Modelele de organizare optimală a activităţilor energetice la nivelul centralelor, lanţurilor energetice şi a consumatorilor industriali de energie sînt legate de teoriile cercetării operaţionale stocuri-aşteptare; echipamente-ordonanţare; inginerie umană-prognoză, căutare-risc şi cost-decizie. Aceste modele se scriu pe funcţiile sistemelor de energie şi prin rezolvare se obţine soluţia optimă de proiectare a organizării obiectivelor prognozate a se realiza în timp util.

Cibernetica organizării sistemelor de energie se poate realiza sistematic cu ajutorul celor două bucle de reacţie una la nivelul robotizării activităţilor şi alta la nivelul centrului informatic-decizional. Robotizarea activităţilor dă siguranţă în execuţie şi asigură calitatea inclusiv eficienţa precalculată a proiectului. Strategia de conducere a sistemelor energotehnologice robotizate reclamă amplificarea roboţilor înzestraţi cu inteligenţă artificială premisa creşterii productivităţii şi eficienţei muncii, atît pe plan mondial, cît şi mai ales la nivelul ţării noastre.

BIBLIOGRAFIE

1. *A. Carabulea* — Proiectarea organizării sistemelor de energie — I.P.B. — 1984.
2. *M. Drăgănescu ş. a.* — Inteligenţa artificială şi robotica. Editura Acad. RSR — 1983.

Design of Energy System Organization

It puts forth organization design problems and aggregate models and function based models are built for developing and achieving high power energy objectives.

The algorithm advanced makes it easy to change organization from an operational problem into one of design engineering and optimal finalization of energy systems.

C.Z.: 622.69 : 519.688

OPTIMIZAREA REȚELELOR RAMIFICATE ȘI BUCLATE DE HIDROTRANSPORT AL CĂRBUNELUI CU APLICAȚIE LA BAZINELE MINIERE MOTRU ȘI ROVINARI

P. ROMAN, D. MAIORESCU, R. PRETORIAN*

În lucrare se prezintă un procedeu de calcul optimizat pentru hidrotransportul cărbunelui de la mine la termocentrale în rețele ramificate și buclate.

Sînt cuplate, într-o secvență, unică, procedura de calcul hidraulic al rețelei cu algoritmul de optimizare, în scopul obținerii dimensiunilor optime ale sistemului pentru diametrele conductelor și sarcinilor de pompare. Se constată că metoda propusă conduce la soluții net avantajoase în raport cu schema de referință prezentată în literatura de specialitate.

1. Introducere

Hidrotransportul materialului solid prin conducte este astăzi, din punct de vedere tehnologic, fezabil, iar din punct de vedere economic, eficient, prezentînd o siguranță ridicată în exploatare. Instalațiile de transport hidraulic sînt larg folosite în industria minieră (transportul cărbunelui, transportul minereurilor și rambleiajul hidraulic al sterilului pentru umplerea cavităților miniere, transportul nămolurilor reziduale), în construcții (hidromecanizare), în industria chimică (unde pe lîngă transport se contează și pe o reacție între faze), în industria celulozei și hîrtiei, etc. În general, conductele de hidrotransport sînt monofilare și unidimensionale, materialul solid fiind introdus la o extremitate a acestora și preluat la cealaltă extremitate. Aplicațiile industriale actuale introduc însă sisteme de conducte ramificate și buclate în care materialul solid este introdus în sistem sau preluat din sistem în diferite puncte ale acestuia.

Avantajele hidrotransportului materialului solid sînt următoarele:

— volume mari de material solid transportat;

— siguranța în alimentarea consumatorilor și elasticitate în funcționare;

— eficiență a transportului în raport cu sistemele clasice și în special față de transportul rutier și pe calea ferată (costuri reduse, productivitate mare, fiabilitate mare, fiabilitate sporită a sistemului);

---

* Conf. dr. ing., catedra Hidraulică și mașini hidraulice; Ing. Dispecerul Energetic Național; Ing. Institutul de Meteorologie și Hidrologie

— consum specific de energie mai mic față de sistemele clasice, ceea ce în conjunctura actuală constituie un avantaj în plus pentru impunerea lui.

Hidrotransportul cărbunelui prezintă și cîteva dezavantaje, din care se menționează :

— uscarea cărbunelui antrenează un consum superior de energie electrică care în bilanțul total de energie este compensat de economia de energie realizată la transportul propriu-zis ;

— concasarea și sortarea cărbunelui la granulația optimă pentru transportul hidraulic, trebuie realizată în carieră și nu în gospodăria de cărbune a termocentralei ca în procesul tehnologic tradițional, operație care necesită investiții suplimentare.

Proiectarea și funcționarea unor sisteme de hidrotransport, trebuie să asigure o eficiență economică ridicată în condițiile atingerii parametrilor tehnologici indicați. Această condiție implică efectuarea unui calcul hidrodinamic al sistemului de hidrotransport precum și o analiză energo — economică a acestuia. Pe de altă parte, indiferent de natura materialului solid și complexitatea rețelei, trebuie impusă condiția de funcționare continuă, adică eliminarea colmatărilor în întreaga rețea de conducte.

De asemenea, în calculul hidrodinamic se vor introduce următoarele restricții :

a) concentrația amestecului apă — solid trebuie să se situeze sub o anumită gamă specifică de valori ;

b) vitezele de transport sînt impuse de condiția de a depăși pragul vitezei critice (viteza de depunere) pentru tipul și dimensiunea particulei de material solid hidrotransportat.

Lucrarea de față, studiază problema complexă, hidrodinamică și energo — economică, de optimizare a două rețele de hidrotransport, una ramificată, iar cealaltă buclată.

Rețeaua ramificată are o lungime de aproximativ 21 km și trebuie să asigure un debit de cărbune de 40 000 t/zi pentru termocentrala Rogojelu, iar rețeaua buclată cu lungimea de 100 km, poate transporta un debit de cărbune de 68.000 t/zi pentru termocentralele Rogojelu și Turceni. Cele două rețele au fost studiate separat, alimentarea făcîndu-se în ambele cazuri de la mine, din bazinele miniere Motru și Rovinari.

2. Analiza unei rețele de hidrotransport a materialului solid

În domeniul transportului hidraulic al materialului solid, cunoașterea fenomenelor particulare se axează asupra următoarelor probleme :

— viteze optime de transport și viteze critice de sedimentare ;

— mărimea și cantitatea, maxime și minime, ale particulelor solide care se transportă ;

— dimensiunile și materialul conductelor de transport ;

— metodele de măsură a principalilor parametri controlați : debit lichid și solid, forma liniilor de curent, granulometria și caracteristici de turbulență ;

— echipamentul de pompare a lichidului de transport și de menținere în suspensie a materialului solid ;

— modalități de separare a materialului solid din faza lichidă.

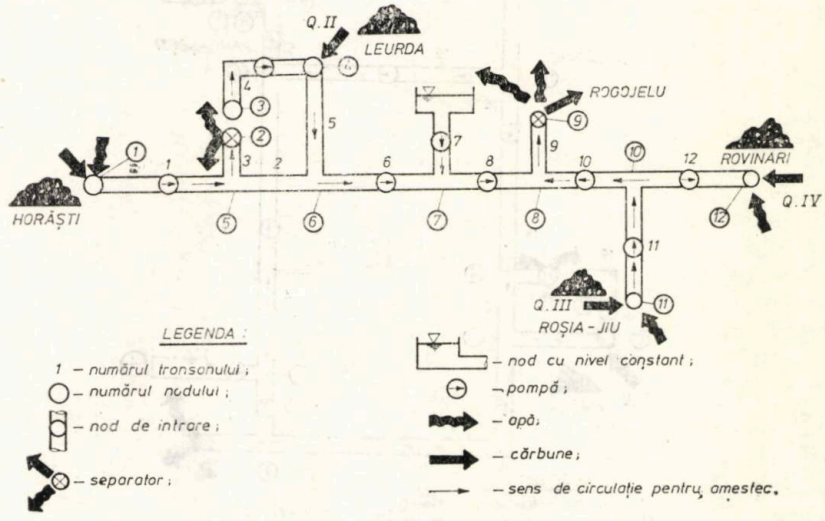


Fig. 1

Rețelele de hidrotransport studiate cuprind ca elemente principale noduri, separatoare și rezervoare cu nivel constant (fig. 1 și 2).

Schema reală a rețelei ramificate cuprinde patru producători (mine de cărbune), un consumator (termocentrala Rogojelu), două separatoare și un rezervor cu nivel constant (la consumator). Principalul dezavantaj al acestui tip de rețea în circuit deschis, îl constituie necesarul continuu de apă. Debitul de apă a fost gîndit să fie captat din Jiu (pentru minele de la Rovinari și Roșia — Jiu) și din Motru (pentru mina de la Horăști). La mina de la Leurda se folosește un sistem de separare a hidromasei, apa rezultată fiind folosită pentru introducerea în circuit a cărbunelui de la această mină.

Schema reală a rețelei buclate cuprinde doi producători (mine de cărbune), doi consumatori (termocentralele Rogojelu și Turceni), patru separatoare și două rezervoare cu nivel constant (la consumatori). Avantajul acestui tip de rețea în circuit închis, față de cea ramificată, constă în faptul că nu vehiculează apă în exterior, pierderile fiind minime.

Bilanțul masic în secțiunea unui producător conduce la scheme simplificate după cum se prezintă în figura 3.

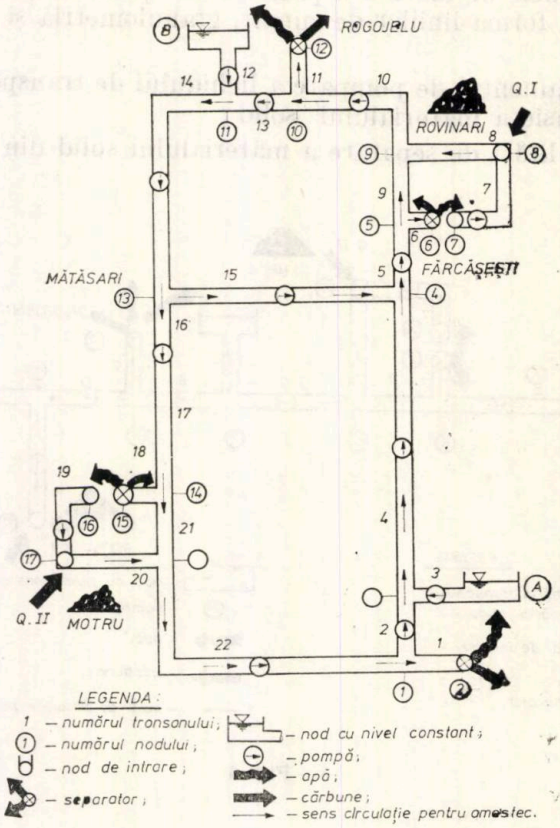


Fig. 2

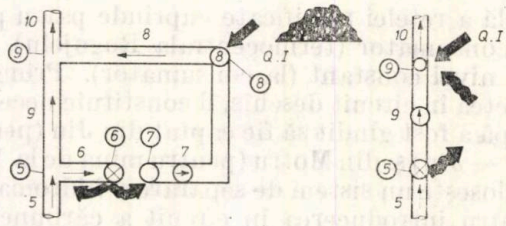


Fig. 3

Schemele reale ale celor două rețele simplificate după metoda indicată mai sus, sînt prezentate în figurile 4 și 5.

Hidrodinamica rețelelor consideră un regim de curgere permanent în distribuție omogenă sau slab eterogenă a suspensiilor în secțiunea vie a conductei.

Modelul matematic se obține prin scrierea ecuațiilor de continuitate pentru amestecul apă — material solid și pentru faza solidă, separat.

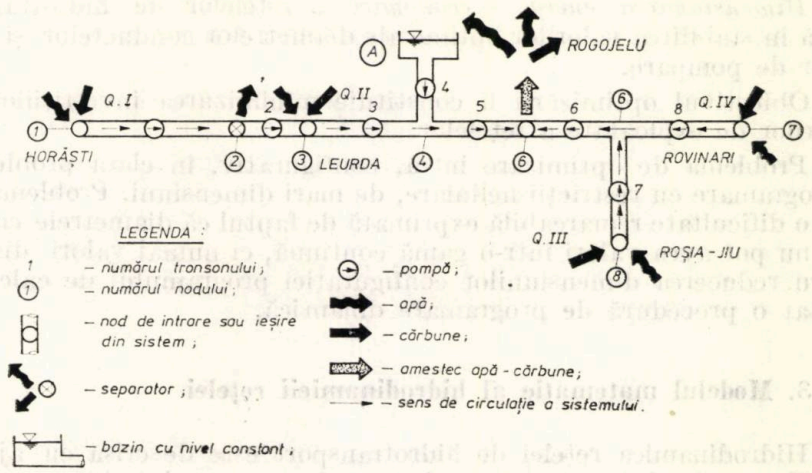


Fig. 4

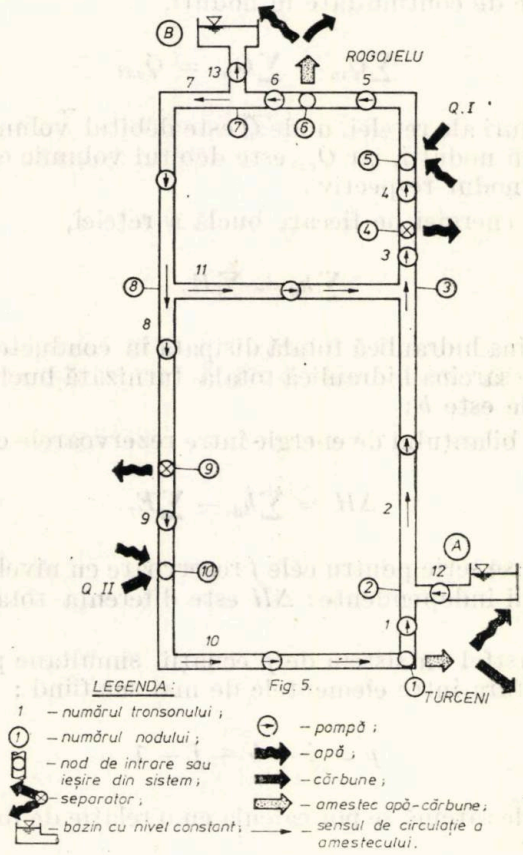


Fig. 5.

Fig. 5

Dimensionarea energo — economică a rețelelor de hidrotransport constă în stabilirea valorilor optime ale diametrelor conductelor și a sarcinilor de pompare.

Obiectivul optimizării îl constituie minimizarea investițiilor și a costurilor de exploatare a rețelelor.

Problema de optimizare intră, configurativ, în clasa problemelor de programare cu restricții neliniare, de mari dimensiuni. Problema prezintă o dificultate remarcabilă exprimată de faptul că diametrele conductelor nu pot avea valori într-o gamă continuă, ci numai valori discrete. Pentru reducerea dimensiunilor configurației programului de calcul s-a adaptat o procedură de programare dinamică.

3. Modelul matematic al hidrodinamicii rețelei

Hidrodinamica rețelei de hidrotransport este descrisă cu ajutorul ecuațiilor regimului permanent al curgerii amestecului bifazic apă — material solid :

— ecuațiile de continuitate în noduri,

$$\sum Q_{in} - \sum Q_{ies} = Q_{ext} \tag{1}$$

pentru cele j noduri ale rețelei, unde Q este debitul volumic în conductele care sînt legate în nodul j, iar Q_{ext} este debitul volumic care intră sau iese din sistem prin nodul respectiv ;

— ecuația energiei pe fiecare buclă a rețelei,

$$\sum h_d = \sum E_p \tag{2}$$

unde h_d este sarcina hidraulică totală disipată în conductele care formează bucla, iar E_p este sarcina hidraulică totală furnizată buclei prin pompare ; numărul de bucle este b ;

— ecuația bilanțului de energie între rezervoarele cu nivel constant,

$$\Delta H = \sum h_d - \sum E_p \tag{3}$$

Ecuația (3) se scrie pentru cele f rezervoare cu nivel constant, rezultînd $f - 1$ ecuații independente ; ΔH este diferența totală de nivel între rezervoare.

Se obține astfel un sistem de p ecuații simultane pentru o rețea cu p conducte, legătura între elementele de mai sus fiind :

$$p = j + b + f - 1 \tag{4}$$

Pierderile de sarcină se pot calcula cu o relație de forma [1] ;

$$h_d^s = h_d^a(\varphi C_v + 1) \tag{5}$$

unde : h_d^s este pierderea de sarcină distribuită pentru curgerea amestecului bifazic, iar h_d^a pentru curgerea apei ; φ este un coeficient adimensional care depinde de caracteristicile amestecului și ale conductelor : C_v este concentrația de solid exprimată volumetric.

Factorul φ se exprimă printr-o relație de forma :

$$\varphi = K\psi, \text{ unde} \tag{6}$$

$$\psi = \frac{v^2 \sqrt{C_D}}{gD(\rho_s' - 1)} \tag{7}$$

în care V este viteza medie de curgere în conductă, D este diametrul acesteia, iar ρ_s' este densitatea relativă a solidului față de apă ; C_D este coeficientul de rezistență la înaintare a particulelor solide în apă.

Valorile empirice ale constantelor din relațiile (6) și (7) sînt analizate în [2].

Energia de pompare este calculată funcție de puterea utilă a pompei, P_u :

$$E_p = \frac{P_u}{Q[(1 - C_v) + \rho_s' C_v]} \tag{8}$$

Utilizînd relațiile (2) — (8), se scrie ecuația (3) sub forma :

$$\Delta H = \sum(\varphi C_v + 1)(k_d Q^2 + k_l Q^2) - \sum \frac{Pu}{Q[(1 - C_v) + \rho_s' C_v]} \tag{9}$$

unde k_d și k_l sînt coeficienții pierderilor de sarcină hidraulică distribuită, respectiv locală.

În total se scriu $b + f - 1$ ecuații energetice de forma (9) cu precizarea că pentru bucle închise variația $\Delta H = 0$.

Ecuațiile de continuitate pentru faza solidă se scriu pentru fiecare nod :

$$(\sum QC_v)_{in} - (\sum QC_v)_{ies} = Q_{ext}\, C_{v\,ext} \tag{10}$$

În continuare :

— pentru fiecare nod, se admit concentrații egale pe toate conductele care ies din nod,

$$C_{vi} = C_{vj} \tag{11}$$

— se precizează concentrația pentru toate rezervoarele cu nivel constant din care se realizează o injecție în rețea, astfel ca :

$$C_{vi} = C_{v_{RNC}} \tag{12}$$

unde $C_{v_{RNC}}$ este concentrația la rezervorul cu nivel constant.

Ecuațiile (10) — (12) formează un sistem de p ecuații simultane cu necunoscutele Q și C_v pentru fiecare conductă a rețelei.

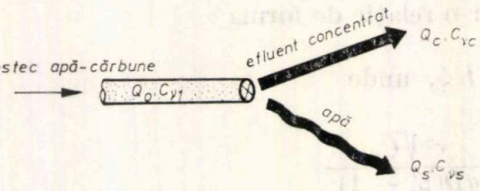


Fig. 6

Separatoarele primesc debitul de amestec bifazic pe care-l separă în două componente : apă cu o concentrație prescrisă (slabă) de solid și un efluent concentrat puternic la o valoare de asemenea prescrisă (fig 6).

Debitul efluentului de apă separat Q_s se determină din relația de continuitate a solidului ;

$$Q_s = \frac{Q_0 C_{vi} - Q_c C_{vc}}{C_{vs}} \tag{13}$$

unde : Q_0 este debitul care este trimis în separator, iar Q_c este debitul fluentului concentrat.

Pentru faza lichidă se scrie continuitatea :

$$Q_c = Q_0 - Q_s \tag{14}$$

Din relațiile (13), (14) rezultă :

$$Q_s = Q_0 \frac{C_{vc} - C_{v_1}}{C_{v_c} - C_{v_s}} \tag{15}$$

Sistemul de ecuații de continuitate obținut prezintă o neliniaritate în Q în exprimarea termenului pierderilor de sacină. Se utilizează o metodă de liniarizare de tip Newton — Raphson bazată pe dezvoltarea în serie Taylor.

Se scrie procedura de liniarizare sub forma :

$$\Delta H = f(Q) = f(Q_0) + \left.\frac{\partial f}{\partial Q}\right|_{Q_0} (Q - Q_0) + \ldots \tag{16}$$

Astfel, ecuația (9) capătă forma :

$$\Delta H = \sum A + \sum B(Q - Q_0) \tag{17}$$

unde :

$$A = \frac{Q_0^3(\varphi C_v + 1)\,(k_d + k_c)\,[(1 - C_v) + \rho_s' C_v] - P_u}{Q_0[(1 - C_v) + \rho_s' C_v]}$$

$$B = \frac{2Q_0^3(\varphi C_v + 1)\,(k_d + k_l)\,[(1 - C_v) + \rho_s' C_v] - P_u}{Q_0^2[\,(1 - C_v) + \rho_s' C_v]}$$

Relația (17) se mai poate scrie sub forma :

$$\sum BQ - \sum BQ_0 = \Delta H - \sum A \qquad (18)$$

S-a obținut astfel un sistem de ecuații liniare care se rezolvă matricial.

Valorile Q obținute prin rezolvarea sistemului sînt injectate în sistemul ecuațiilor în C_v.

Procedeul se repetă pînă cînd soluțiile Q și C_v nu diferă semnificativ de valorile obținute în pasul anterior.

Problema studiată prezintă o restricție fundamentală, în sensul că transportul hidraulic al materialului solid prin conducte, nu admite întreruperi (care se pot produce prin înfundarea sau colmatarea conductelor).

Ca urmare, programul de calcul cuprinde un test de verificare a vitezei de curgere în fiecare conductă, astfel ca valoarea acesteia să depășească în toate cazurile valoarea vitezei critice de depunere care se calculează cu o formulă uzuală [3] :

$$V_c = \sqrt{\frac{40 C_v g D(\rho'_s - 1)}{\sqrt{C_D}}}$$

Procedura de rezolvare a sistemului de ecuații liniare face apel la metoda Gauss cu pivot maxim. Se aduce matricea coeficienților necunoscutei la o formă superior triunghiulară, după care se realizează iterații succesive pînă la atingerea condiției impuse asupra diferențelor între valorile Q și respectiv C_v obținute în doi pași succesivi.

4. Modelul matematic al optimizării rețelei

La baza procedurii de optimizare stă principiul de optimalitate al lui Bellman : „Orice politică optimă se bazează pe o secvență de subpolitici optime".

Pentru rețeaua ramificată — Rogojelu — s-a aplicat direct principiul de optimalitate.

Pentru rețeaua buclată — Rogojelu — Turceni — a fost necesară adaptarea procedeului specific programării dinamice (secvențial), operația constînd în spargerea buclelor și impunerea condiției de compatibilitate în noduri. Astfel, s-au obținut două reprezentări adecvate ale rețelei :

(1) dezvoltarea într-un arbore cu ramificații (fig. 7)

(2) dezvoltarea în doi arbori fără ramificații (fig. 8)

Forma (1) se rezolvă prin aplicarea directă a principiului de optimalitate, iar în forma (2) se rezolvă iterativ cei doi arbori printr-o metodă de aproximații succesive.

Funcția obiectiv, folosită atît pentru rețeaua ramificată cît și pentru cea buclată, este reprezentată de costurile de investiție în conducte și pompe (exclusiv costurile separatoarelor și rezervoarelor) și de costurile de exploatare ale sistemului studiat.

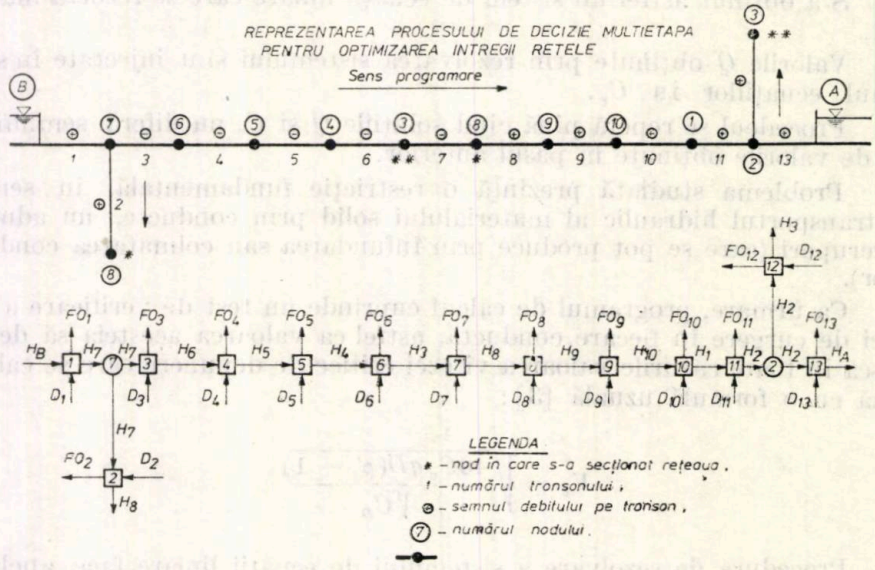


Fig. 7

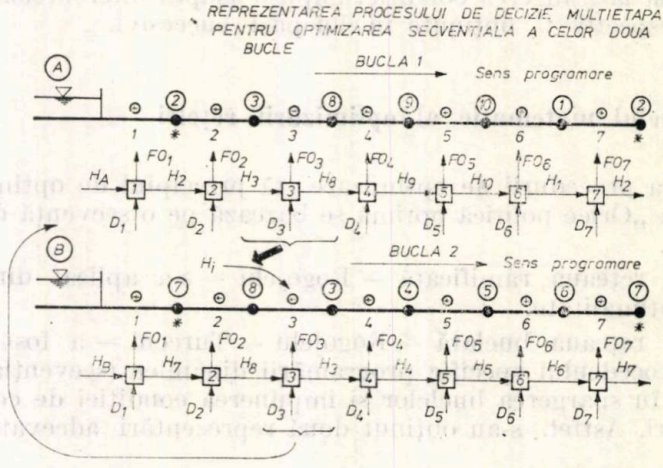


Fig. 8

Costul final al instalației depinde de seriile de decizii D_j și H_k adică de diametrele pentru fiecare tronson și respectiv de sarcinile în fiecare nod al rețelei.

Funcția obiectiv utilizată [4] este neliniară, de forma:

$$FO = (k_1 + k_2 D + k_3 D^2)L + k_4 (Q)^a H^b + k_4 Q' H \qquad (19)$$

unde întîiul termen reprezintă costul conductei de diametru D și lungimea L, cel de-al doilea costul pompei de debit Q' și sarcină H, iar ultimul, costul de exploatare anual al unei pompe.

$$Q' = Q[(1 - C_v) + \varphi_s' \cdot C_v]$$

Procedura de optimizare urmează următoarele etape:

1. Citirea datelor de intrare (configurația rețelei, debite, concentrații, diametre și sarcini, etc);
2. Identificarea laturilor care fac parte din bucle sau constituie ramificații.
3. Calculul pierderilor de sarcină hidraulică pentru toate diametrele și pe fiecare latură, introducînd și restricția asupra vitezei de cugere;
4. Calculul sarcinilor de pompare;
5. Calculul funcției obiectiv pentru fiecare tronson ca o însumare a valorilor acesteia pe tronsoanele anterioare;
6. Alegerea sarcinii și diametrului, optime, funcție de valoarea minimă a funcției obiectiv;
7. Stabilirea politicii optime (seria de valori de-a lungul rețelei).

5. Analiza rezultatelor

Hidrodinamica rețelelor:

a) Rețeaua ramificată

Datele rezultate în urma calculelor sînt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

NL Q	(m^3/s)	CON	L(m)
1	1,14	0,16	1950
2	1,04	0,18	50
3	1,16	0,18	19125
4	0,04	0,02	1150
5	1,20	0,17	30
6	1,28	0,16	3125
7	0,20	0,16	3625
8	1,08	0,16	300

În această fază a proiectării, scopul a fost atins: determinarea unei distribuții de debite și concentrații de cărbune pe tronsoane, care să asigure necesarul de combustibil termocentralei Rogojelu. Problema trece apoi prin analiza energo — economică cînd, practic, rețeaua se redimensionează impunîndu-se și restricția asupra vitezei de curgere.

b) Reţeaua buclată

Pentru reţeaua buclată s-au încercat cinci variante, deosebirile constînd în modificări ale diametrelor conductelor şi ale puterilor de pompare. S-au obţinut următoarele valori :

VARIANTA 1	77,586 MW
VARIANTA 2	77,086 MW
VARIANTA 3	67,150 MW
VARIANTA 4	59,850 MW
VARIANTA 5	67,308 MW

Aşa cum se poate observa din tabelul 2 restricţia asupra vitezei de curgere este satisfăcută integral numai în cazul variantei 4.

Tabelul 2

Varianta 1

NL	Q (m³/s)	CON	V	V_{Cr}
1	0,96	0,18	1,90	3,50
2	2,00	0,10	3,99	2,56
3	2,84	0,09	5,65	2,40
4	1,00	0,23	1,99	3,89
5	3,16	0,17	6,28	3,40
6	0,78	0,17	1,55	3,40
7	3,18	0,06	6,33	1,96
8	2,35	0,06	4,67	1,96
9	0,97	0,13	1,93	2,89
10	2,74	0,18	5,44	3,50
11	0,83	0,06	1,66	1,96
12	1,05	0,02	2,08	1,15
13	2,40	0,02	4,78	1,15

Varianta 2

Q (m³/s)	CON	V	V_{Cr}
0,59	0,21	2,09	3,22
2,01	0,08	3,99	2,24
2,95	0,07	5,88	2,17
1,01	0,19	3,55	3,07
3,27	0,16	6,51	3,23
0,89	0,16	3,16	2,80
2,93	0,06	5,83	2,03
1,98	0,06	3,94	2,03
0,67	0,16	2,36	2,85
2,37	0,21	4,41	3,72
0,95	0,06	1,89	2,03
1,41	0,02	2,81	1,15
2,04	0,02	4,05	1,15

Varianta 3

NL	Q (m³/s)	CON	V	V_{CR}
1	0,4	0,22	1,40	3,29
2	1,88	0,06	3,75	2,02
3	2,85	0,06	5,67	2,00
4	0,87	0,17	3,07	2,95
5	3,17	0,15	6,01	3,16
6	0,79	0,15	2,79	2,73
7	0,75	0,06	5,48	1,95
8	1,79	0,06	3,55	1,95
9	0,49	0,18	1,74	3,01
10	2,18	0,22	4,33	3,80
11	0,97	0,06	4,92	1,54
12	1,49	0,02	2,96	1,15
13	1,96	0,02	3,91	1,15

Varianta 4

Q (m³/s)	CON	V	V_{CR}
0,32	0,22	4,52	2,33
1,72	0,06	4,42	1,94
2,69	0,05	5,35	1,90
0,71	0,18	3,63	2,71
3,01	0,15	5,98	3,15
0,63	0,15	3,20	2,49
2,68	0,05	5,32	1,83
1,71	0,05	3,40	1,83
0,41	0,18	3,27	2,43
2,10	0,22	4,18	3,81
0,97	0,05	4,92	1,45
1,40	0,02	2,79	1,15
2,05	0,02	4,07	1,15

Varianta 5

NL	Q m³/s)	CON	V	V_{CR}
1	0,4	0,22	1,41	3,33
2	2,01	0,06	4,01	2,00
3	3,02	0,06	6,01	2,02
4	1,01	0,16	3,59	2,85
5	3,34	0,15	6,65	3,12
6	0,96	0,15	3,41	2,70
7	2,80	0,06	5,57	2,05
8	1,79	0,06	3,56	2,05
9	0,52	0,19	1,85	3,09
10	2,18	0,22	4,33	3,84
11	1,01	0,06	2,02	2,05
12	1,61	0,02	3,21	1,15
13	1,84	0,02	3,66	1,15

Un studiu amănunțit al variației de putere pe un tronson principal ar putea conduce la realizarea unor caracteristici de exploatare a rețelei. Prin modificări de putere, se obțin modificări de viteze, modificări ce pot îmbunătăți curgerea hidromasei, mai ales în punctele critice ale rețelei.

Dimensionarea energo — economică

a) Rețeaua ramificată

În figura 9 este reprezentată politica optimă în cadrul rețelei Rogojelu. Pasul sarcinii, în fiecare nod, a fost ales la 25 m, obținîndu-se o

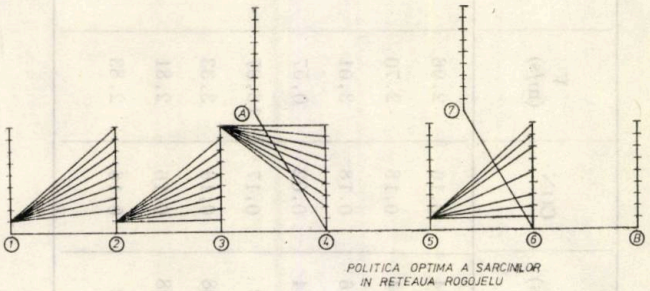


Fig. 9

putere utilă de pompare de aproximativ 9,72 MW. Funcția obiectiv în acest caz are valoarea de $4{,}26 \cdot 10^8$ lei.

Datele rezultate în urma dimensionării energo-economice sînt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3

Nr. tron-son	Noduri	Q (m^3/s)	CON	V (m/s)	V_{CR} (m/s)	D (m)	L (m)	ZP (MW)	FO (10^8 lei)	H_p (m)	H_{i-1} (m)	H_i (m)
1	1—2	1,14	0,16	2,96	0,30	0,7	1950	1,4436	0,614	114	250	310
2	2—3	1,04	0,18	2,70	0,32	0,7	50	2,1287	0,87	182	310	490
3	3—4	1,16	0,18	3,01	0,32	0,7	19120	3,1284	1,45	239	490	164
4	4—A	0,04	0,02	0,57	0,07	0,3	1150	0,074	0,02	18,6	164	175
5	4—5	1,2	0,17	16,97	0,21	0,3	30	0,0118	0,001	0,882	164	200
6	5—6	1,28	0,16	3,33	0,30	0,7	3125	0,0176	0,04	1,24	200	285
7	6—7	1,08	0,16	2,81	0,30	0,7	3652	2,6066	1,10	217	285	170
8	6—8	0,2	0,16	2,83	0,20	0,3	300	0,3062	0,14	138	285	160
							29350	9,7168	4,255			

b) Rețeaua buclată

Cele cinci variante au fost optimizate energo-economic, atît în forma (1) (FO^i) cît și în forma (2) (FO^s) (tabelul 4).

Tabelul 4

Varianta	FO^i (10^8 lei)	FOs^* (10^8 lei)	FO_3 (10^8 lei)	FOs (10^8 lei)
1	22,41	22,56	0,3	22,26
2	23,68	24,45	0,74	23,71
3	18,75	20,9	0,84	20,06
4	16,80	17,23	0,1	17,13
5	19,90	19,66	0,16	19,50

În cazul formei (2), pentru determinarea funcției obiectiv pe întreaga rețea FO^s, trebuie avut în vedere tronsonul comun (FO_3) care apare în cei doi arbori fără ramificații, adică :

$$FO^{s*} = FO^{s1} + FO^{s2}$$

$$FO^s = FO^{s*} - FO_3$$

unde FO^{s1} și FO^{s2} reprezintă funcțiile obiectiv pentru primul și respectiv al doilea arbore (bucla 1 și bucla 2).

Așa cum se poate observa, FO minimă se obține în cazul variantei 4. Pentru această variantă s-a încercat inversarea sensului de programare în dimensionarea energo — economică, în ambele forme rezultatele fiind trecute în tabelul 5.

Tabelul 5

Varianta	FO^i (10^8 lei)	FO^{s*} (10^8 lei)	FO_3/FO_6 (10^8 lei)	FO^s (10 lei)
4	16,80	17,23	0,1	17,13
4 INVERSAT	16,95	17,29	0,1	17,19

În continuare, varianta 4 forma (1) a fost optimizată prin metoda programării dinamice incrementale. Astfel, în jurul sarcinilor dictate de politica optimă anterioară, s-au impus sarcini cu un pas înjumătățit față de situația anterioară (figura 10). Același lucru s-a făcut cu diametrul optim rezultat anterior, valoarea optimă fiind încadrată, superior și inferior, cu două valori.

După cum se poate observa în figura 11, în nodurile 10 și 2 se simte nevoia unor creșteri suplimentare de sarcina. Acest lucru a fost realizat în varianta incrementală dezvoltată. În tabelul 6 sînt prezentate rezultatele obținute.

Tabelul 6

Varianta	FO^t (10^8 lei)
4 OPTIMIZAREA ÎNTREGII REȚELE	16,80
INCREMENTALA OPTIMIZAREA ÎNTREGII REȚELE	16,14
INCREMENTALA DEZVOLTATA OPTIMIZAREA ÎNTREGII REȚELE	13,51

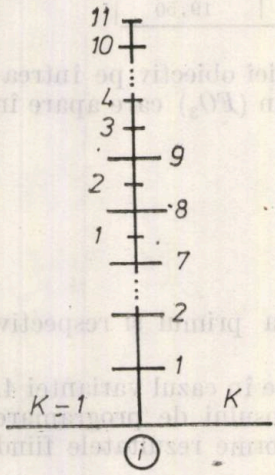


Fig. 10

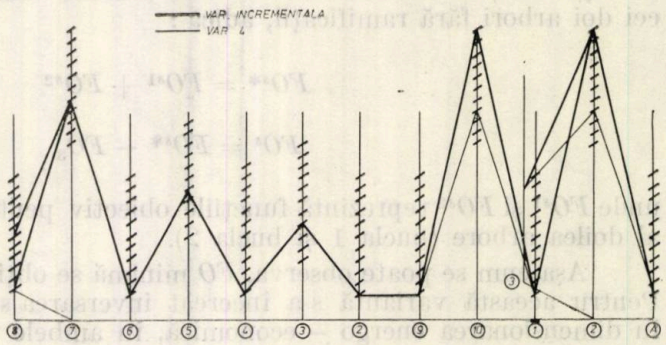


Fig. 11

În final s-a obținut $FO = 13{,}51 \cdot 10^8$ lei și o putere utilă de pompare de aproximativ 28 MW (tabelul 7).

În urma unor cercetări făcute în studiul hidrotransportului, introducerea unor polimeri în hidroamestec poate conduce la o diminuare a pierderilor de sarcină de 15 — 20%. Astfel, această diminuare are ca efect o scădere cu 33% a FO.

În încheiere, pentru verificarea acestui lanț de optimizări, datele rezultate au fost reintroduse în calculul hidrodinamic rezultînd aceeași distribuție de debite și concetrații pe tronsoane.

6. Concluzii

Studiul și-a propus să demonstreze posibilitatea optimizării energo — economice a unor rețele de hidrotransport al cărbunelui prin asocierea independentă a calculului hidraulic și al procedurii de programare dinamică.

Rezultatele arată că metoda propusă conduce la soluții mult mai avantajoase față de schema de referință considerată uzuală (vezi [5]).

Tabelul 7

Nr. tron son	Noduri	Q (m^3/s)	CON	V (m/s)	V_{CR}	D (m)	L (m)	ZP (MW)	FO (10^8 lei)	Hp (m)	H_{i-1} (m)	H_i (m)
1	B—7	2,05	0,02	2,16	1,35	1,10	1150	4,2833	1,872	211	175	376,5
2	7—8	2,68	0,05	2,82	2,14	1,10	10370	0,1795	0,28	6,69	476,5	242
3	7—6	0,63	0,15	3,21	2,50	0,5	30	1,3261	0,58	202	376,5	175
4	6—5	3,01	0,15	4,73	3,35	0,9	3125	0,5342	0,28	17,1	175	252,5
5	5—4	0,71	0,18	3,62	2,73	0,5	50	0,7050	0,32	94,4	252,5	160
6	4—3	2,69	0,05	2,83	2,14	1,10	5500	0,3313	0,24	12,3	160	222,5
7	3—8	0,97	0,05	2,52	1,70	0,7	8500	1,0636	0,56	110	222,5	242
8	8—9	1,71	0,05	2,69	1,93	0,9	8750	3,2888	1,54	192	242	310
9	9—10	0,41	0,18	3,26	2,44	0,4	40	2,6696	1,2	619	310	927,5
10	10—1	2,10	0,22	4,18	3,82	0,8	3300	5,3472	2,64	234	927,5	125
11	1—2	0,32	0,22	4,53	2,34	0,3	45	1,6135	0,72	427	125	592,5
12	2—3	1,72	0,06	2,70	2,12	0,9	24125	0,1198	0,42	6,94	592,5	222,5
13	2—A	1,40	0,02	2,20	1,22	0,9	950	6,5886	2,86	476	592,5	125
						TOTAL	95635	27,9436	13,51			

BIBLIOGRAFIE

1. *R. Durand*, „Basic relationships of the transportation of solides in pipes", Proc. Minnesota Int. Hydr. Conf., Minneapolis, 1953.
2. *H. W. Shen*, „Energy dissipation for hydraulic transport of coal through pipelines", IAHR Congress, Baden — Baden, 1977.
3. D. J. Wood „Slurry flow in pipe networks", Proc. ASCE, HY 1, 1980.
4. *Th. Watanarada*, „Least-cost design of water distribution systems", Proc. ASCE, HY 9, 1973.
5. *Tung Liang* „Design conduit system by dynamic programming", Proc. ASCE, HY 3, 1973.
6. *P. Roman, D. Maiorescu, N. Călin* „Optimizarea rețelelor de hidrotransport al cărbunelui". Conferința Națională de Energetică, nov. 1983.

Optimization of the Networks for the Coal Hydraulic Transport

In the paper we present a computation procedure of optimisation for coal hydraulic transport from the mines to the power station, in two different types of networks.

The hydrodynamic computation is coupled with the optimisation procedure in one mathematical model.

The solutions of this model consists in the optimal dimensions of the pipe diametres and pumping heads. The results show a net advantage of this method compared with the already known computation presented in reference..

C.Z.: 681.39 : 621.31

CONSIDERAȚII PRIVIND UTILIZAREA ECHIPAMENTELOR NUMERICE ROMANEȘTI IN CONDUCEREA STAȚIILOR ELECTRICE

S. ILIESCU, D. MIHOC, A. UNGUREANU*

Dezvoltarea echipamentelor numerice atît sub raportul performanțelor tehnice, cît și al posibilităților de adaptare la diversitatea proceselor tehnologice au permis abordarea într-o manieră nouă a concepției de realizare a structurilor de conducere din stațiile electrice. În esență, această concepție constă în utilizarea calculatoarelor de proces și a automatelor programabile. Pornind de la această concepție, lucrarea prezintă un program de aplicație pentru un automat programabil și propune o structură de conducere ce folosește echipamente românești.

1. Introducere

Într-un sistem electroenergetic este necesar să se realizeze o permanentă corelare a producției la consum, cu respectarea unor constrîngeri severe. De aceea toate funcțiile generale de conducere a sistemului electroenergetic, de la organizarea producției, pînă la obținerea energiei electrice la parametrii doriți și la repartizarea ei cu pierderi minime la consumatori, trebuie îndeplinite zilnic și readaptate la fiecare moment, în funcție de perturbațiile produse. Rezultă că, o conducere în timp real a sistemului electroenergetic va avea un profund caracter autoadaptiv și de autoprotecție, atît pe generare cît și pe consum de energie electrică. Pentru stabilirea unor metode predictive sînt necesare statistici riguroase și un sistem bine organizat de analiză statistică probabilistică, ca și fișiere corespunzătoare, în care să fie stocate informații sintetice.

Fluxul mare de informații și rapiditatea luării unor decizii au impus de la sine utilizarea echipamentelor numerice, echipamente ce asigură performanțe ridicate tehnico-economice în conducerea proceselor [1].

Utilizarea sistemelor numerice de conducere incluzînd calculatoare de proces și automate programabile în automatizarea sistemului electroenergetic ridică, așa cum se arată în [2, 4], o problemă de delimitare a sarcinilor atît pe verticală cît și pe orizontală. Primul aspect presupune

* Șef lucrări dr. ing.; Conf. dr. ing., catedra Automatică; Ing. cercet. ICEMENERG

organizarea conducerii sistemului electroenergetic pe mai multe nivele ierarhice. Pe orizontală, conducerea unui subsistem presupune delimitarea pe echipamente a sarcinilor de reglare, protecţie, comandă şi semnalizare.

În cadrul acţiunii de realizare a unui sistem global de conducere a sistemului electroenergetic, o etapă importantă o are integrarea în acest ansamblu a protecţiei aferente diverselor subsisteme [3].

2. Stadiul actual

Dezvoltarea continuă a sistemului electroenergetic a impus şi dezvoltarea corespunzătoare a instalaţiilor de automatizări. Aceste dezvoltări s-au făcut mai mult în sensul extinderii funcţiilor şi complexităţii acestor instalaţii şi mai puţin în sensul utilizării tehnologiilor actuale, în speţă, microprocesoare, calculatoare. Utilizarea acestor tehnologii ridică o serie întreagă de probleme specifice instalaţiilor electroenergetice la care specialiştii caută soluţii corespunzătoare. Între acestea un prim aspect este legat de însăşi concepţia de executare a acestor instalaţii, în sensul reducerii perturbaţiilor sub nivelul la care acestea pot afecta buna funcţionare a echipamentelor cu funcţionare numerică. Un al doilea aspect este legat de realizarea unei familii de interfeţe specializate care să facă legătura între sistemul de conducere centralizat şi diversele echipamente din instalaţii.

În general, instalaţiile utilizate pot fi împărţite în următoarele grupe : instalaţii de protecţie, instalaţii pentru menţinerea şi funcţionarea sistemului în cazul apariţiei perturbaţiilor, instalaţii de optimizare şi instalaţii de teleconducere.

Din prima categorie fac parte toate instalaţiile de protecţie corespunzătoare elementelor distincte ale sistemului : linii electrice radiale şi de interconexiune, transformatoare, bare colectoare etc. Dispozitivele de protecţie utilizate în prezent sînt în general de tip clasic, perfecţionate, care realizează atît timpi de intervenţie foarte mici cît şi o selectivitate sporită. În paralel cu acestea au apărut şi protecţii hibride care au în componenţa lor atît circuite clasice cît şi circuite logice standard. Din această categorie fac parte dispozitivele la care intrarea este clasică urmînd apoi o convertire în semnal TTL şi o logică corespunzătoare principiului de funcţionare a protecţiei. Pentru a elimina influenţa perturbaţiilor sînt luate măsuri pe partea de curent alternativ, prin utilizarea optocuploarelor, cît şi pe partea de alimentare în curent continuu, prin utilizarea convertoarelor.

O altă gamă de dispozitive de protecţie utilizează în componenţa lor microprocesorul. Pe acest principiu au fost construite cîteva relee de frecvenţă şi de derivată a frecvenţei, de putere şi de derivata puterii, cît şi relee de distanţă. O parte din aceste dispozitive de protecţie au încorporat şi un program de autocontrol şi de evidenţiere a funcţionării incorecte a acestui dispozitiv.

În cîteva ţări (Franţa, SUA, Japonia) sînt în curs de experimentare sisteme de protecţie complexe prin utilizarea calculatoarelor numerice.

Pentru celelalte tipuri de instalaţii menţionate mai sus se caută soluţii similare.

3. Structura sistemului de conducere a stațiilor electrice

Integrarea funcțiilor de conducere (reglare, comandă automată, protecție, semnalizare, etc.) dintr-o stație electrică, parte componentă a sistemului electroenergetic, se face în sensul realizării unui sistem de conducere descentralizat, descentralizarea funcțională permițind creșterea fiabilității și o rezolvare mai rapidă, în timp real, a diverselor situații legate de conducerea procesului.

Așa cum s-a mai amintit o componentă importantă o constituie protecțiile electrice. Utilizarea unui sistem de protecție cu echipamente numerice are la bază ideea că, în primul rînd dezvoltarea acestor sisteme energetice a condus la folosirea unor echipamente de înaltă complexitate și sensibilitate, la un preț de cost ridicat. O astfel de investiție este insuficient utilizată datorită destinației exclusive de limitare a defectelor. În aceste condiții apar îndoieli și în legătură cu o acțiune corectă viitoare în cazul unui defect în instalația protejată. În al doilea rînd utilizarea echipamentelor numerice în sistemele de protecție permite o creștere a performanțelor acestor sisteme legate de selectivitate, rapiditate, etc.

În figura 1 se prezintă o propunere a unui sistem de conducere destinat stațiilor electrice de mare și medie putere. Concepția care a stat la baza acestei soluții constă în utilizarea atît a calculatoarelor numerice

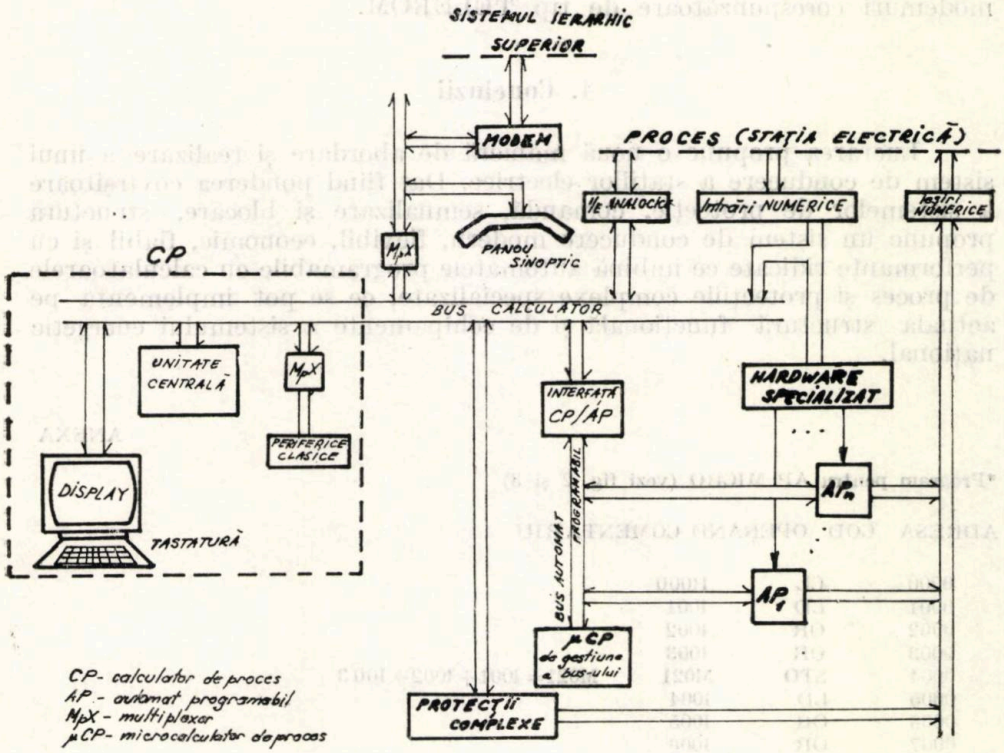


Fig. 1 — Sistemul de conducere la o stație electrică

cît și a automatelor programabile. Calculatoarele vor fi destinate, în principal, pentru supravegherea generală a stației, la reglajul automat, analizele de postavarie și pentru realizarea protocolului de telecomunicații cu nivelul ierarhic superior și (eventual) cu cel inferior, precum și ca rezervă pentru celelalte echipamente. Automatele programabile vor prelua în special funcțiile de comandă automată, inclusiv protecțiile simple. Protecțiile complexe vor fi asigurate prin echipamente numerice specializate cu microprocesor. Blocul de logică hardware specializat are rolul de a detecta tipul de defect și a pune în funcțiune automatul programabil corespunzător tipului de defect. Funcție de tipul și de extinderea defectului, vor lucra unul sau mai multe automate programabile. Este necesar să se realizeze și o interfață între calculatorul de proces și automatul programabil pentru a se schimba date între aceste două echipamente [5]. În anexă se exemplifică modul de autilizare a automatului programabil pentru realizarea protecției la o celulă de transformator de forță. Limbajul în care este scris programul este corespunzător setului de instrucțiuni pentru automatul programului AP MICRO, identic cu cel al automatului AP 101. Programele de protecție pe instalațiile individuale (celule) pot fi implementabile și pe KIT-ul PROCESOR 14 000 [6], sistemul necesitînd completări cu o magistrală serială și un panou simplu de operare. Magistrala va fi gestionată de un microsistem destinat conducerii proceselor. Calculatorul de proces va fi din familia minicalculatoarelor CORAL prevăzut cu modemuri corespunzătoare de tip TELEROM.

4. Concluzii

Lucrarea propune o nouă manieră de abordare și realizare a unui sistem de conducere a stațiilor electrice. Dat fiind ponderea covîrșitoare a sistemelor de protecție, comandă, semnalizare și blocare, structura propune un sistem de conducere modern, flexibil, economic, fiabil și cu performanțe ridicate ce îmbină automatele programabile cu calculatoarele de proces și protecțiile complexe specializate, ce se pot implementa pe actuala structură funcțională și de echipamente a sistemului energetic național.

ANEXA

*Program pentru AP MICRO (vezi fig. 2 și 3)

ADRESA	COD	OPERAND	COMENTARIU
0000	CL	R000	
0001	LD	I001	
0002	OR	I002	
0003	OR	I003	
0004	STO	M021	M021 = I001 + I002 + I00 3
0005	LD	I004	
0006	OR	I005	
0007	OR	I006	
0008	STO	M022	
0009	LD	M022	

0010	STO	T000	Lansare temporizare T000
0011	LD	T000	Transfer T000 la ieşirea internă M023
0012	STO	M023	M023 = M022 :T000
0013	LD	I007	
0014	OR	I008	
0015	STO	M024	M024 = I007 + I008
0016	LD	M024	
0017	STO	T001	Lansare temporizare T001
0018	LD	T001	Transfer T001 la ieşirea internă M025
0019	STO	M025	M025 = M024 T001
0020	LD	I009	
0021	OR	M021	
0022	OR	M023	
0023	OR	M025	
0024	STO	E001	E001 = M021 + M023 + M025 + I009
0025	EP		

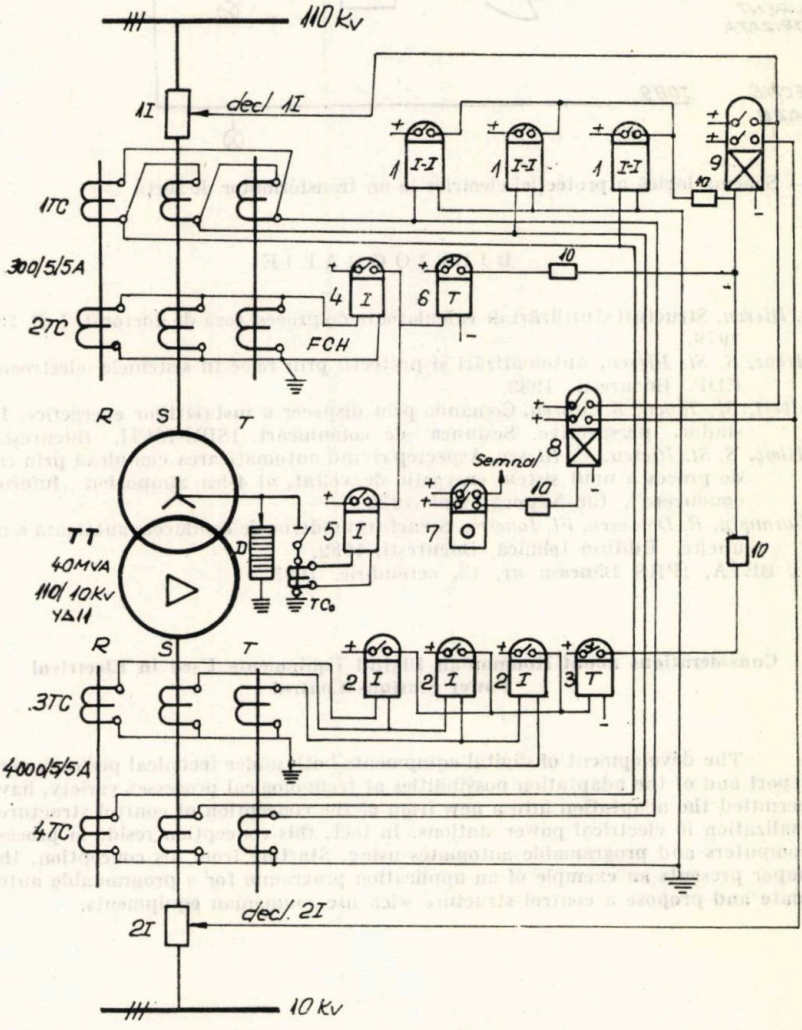


Fig. 2 — Schema de protecţie electrică la un transformator de forţă

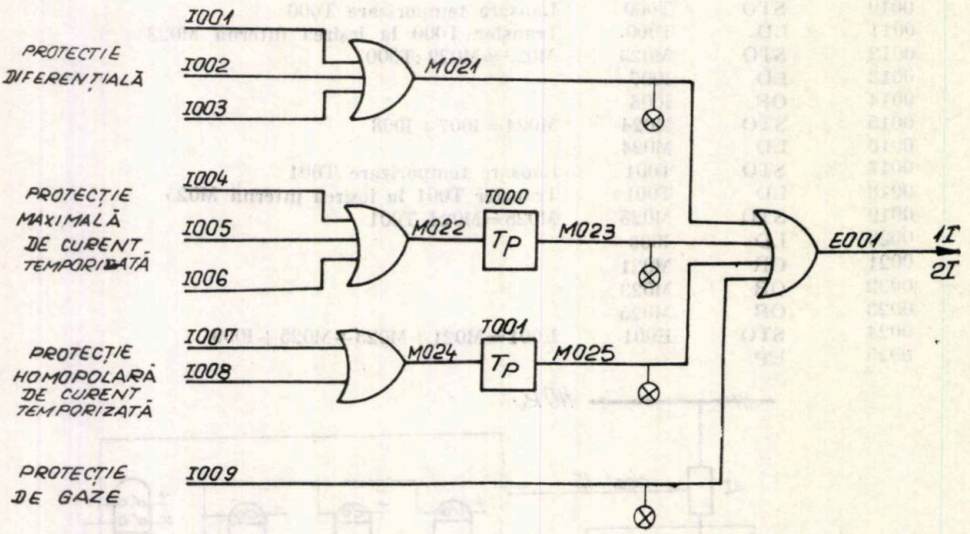


Fig. 3 — Schema logică a protecției electrice la un transformator de forță

BIBLIOGRAFIE

1. *S. St. Iliescu*, Structuri și utilizări de calculatoare de proces, teză de doctorat, I. P. București, 1979.
2. *D. Mihoc, S. St. Iliescu*, Automatizări și protecții prin relee în sistemele electroenergetice, EDP, București, 1983.
3. *H. Albert, M. Iancu, S. Marcu*, Comanda prin dispecer a instalațiilor energetice. Evoluție, stadiu, perspective. Sesiunea de comunicări ISPE-ISPH, București, 1979.
4. *D. Mihoc, S. St. Iliescu, V. Iliescu*, Aspectep rivind automatizarea complexă prin calculator de proces a unui sistem energetic dezvoltat, al 4-lea Simpozion „Informatică și conducere", Clu-Napoca, mai 1978.
5. *Th. Borangiu, R. Dobrescu, Fl. Ionescu*, Structuri moderne de eonducere automată a mașinilor unelte, Editura tehnică, București, 1982.
6. x x x BETA, IPRS Băneasa nr. 13, octombrie, 1985

Considerations about Roumanian Digital Equipments Used in Electrical Power Stations Control

The development of digital equipments both under technical performances report and of the adaptation possibilities at technological processes variety, have permited the adaptation into a new from of the conception of control structures realization in electrical power stations. In fact, this conception reside in process computers and programable automates using. Starting from his conception, the paper presents an exemple of an application programm for a programable automate and propose a control structure wich use roumanian equipments.

C.Z.: 621.315.2 : 537.311.5 : 681.3.06

SISTEM DE PROGRAME DE CALCUL PENTRU DETERMINAREA REGIMURILOR TERMICE, MAXIM ADMISIBILE IN FUNCŢIONAREA DE LUNGĂ DURATĂ A REŢELELOR ELECTRICE IN CABLU

LUCIA DUMITRIU, C. DUMITRIU*

Lucrarea rezolvă problema determinării valorii curentului maxim admisibil în regim permanent al unui cablu, prin conceperea unui set de programe pentru studiul reţelelor electrice în cablu, în condiţii de încălzire maximă admisibilă.

Analiza cuprinde toate tipurile de cabluri folosite în ţara noastră şi se extinde asupra principalelor moduri de pozare.

1. Introducere

Creşterea continuă, la nivel mondial, a producţiei şi consumului de energie electrică este o caracteristică a dezvoltării actuale a societăţii omeneşti şi determină mutaţii în conceperea, proiectarea şi exploatarea sistemelor electro-energetice, prin folosirea pe o scară tot mai extinsă a tehnologiilor noi, precum şi prin folosirea mai intensă, în condiţii tehnico-economice prestabilite a instalaţiilor electrice existente.

Transportul şi distribuţia cantităţilor tot mai mari de energie electrică spre principalii consumatori din sistem ridică probleme deosebite, mai ales în aglomerările urbane, în folosirea culoarelor de intrare existente în staţiile de conexiune şi determină utilizarea pe scară tot mai largă a cablurilor electrice de înaltă tensiune, care prezintă un efort de investiţii foarte important.

În vederea creşterii eficienţei acestor investiţii, proiectarea şi exploatarea reţelelor electrice în cablu trebuie să urmărească optimizarea folosirii capacităţii de transport a acestor instalaţii.

Pentru aceasta este necesară efectuarea unei analize complexe a regimului termic de funcţionare a reţelei în cablu, cuprinzînd determinarea curenţilor maximi admisibili şi a temperaturilor atinse în diferite regimuri de funcţionare, a duratelor de funcţionare sub diferite încărcări, etc.

Ca primă etapă într-o astfel de analiză, a fost elaborat un program complex de calcul al valorii curentului maxim admisibil al unui cablu ţinîndu-se seama de toţi factorii care influenţează regimul termic şi care pot fi grupaţi după:

— tipul cablului (număr de conductoare, geometrie, tensiune, dielectrici, etc.)

— modul de pozare (în aer, îngropat direct în pămînt, în tub, etc.)

* Asist. ing., catedra Electrotehnică, Asist. ing., catedra Centrale şi reţele electrice

2. Principii de calcul

Metodele de calcul ale încălzirii cablurilor electrice se bazează pe realizarea unei analogii între fenomenul de transmitere a fluxului termic descris de legea lui Fourier şi cel al circulaţiei curentului electric prin conductoare, descris de legea lui Ohm.

În acest scop problema cuprinde două aspecte:

— stabilirea modelului termic al cablului care să urmărească fluxurile de căldură prin rezistenţele termice ale cablului, ceea ce poate fi privit ca o dimensiune fizică;

— stabilirea modelului matematic al sistemului cablului, care să lege curentul şi tensiunea de creşterea temperaturii.

Calculul încălzirii cablurilor electrice se face pe baza ecuaţiei bilanţului energetic între cantitatea de căldură care se produce în interiorul cablului şi cantitatea de căldură cedată în exterior (1), sursele principale de căldură în cablu fiind:

— conductoarele (în care apar pierderi prin efect Joule);
— învelişurile izolante (în care apar pierderi dielectrice);
— învelişurile metalice — ecrane, armături — (în care apar pierderi prin curenţi induşi de curentul principal din conductoare).

Cu notaţiile stabilite de STAS 10955—78 [5] precum şi de recomandările CEI [4], această ecuaţie se scrie:

$$W_c + W'_e + W'_a + W_d + W_{ext} = W_{conv} + W_{rad} \qquad (1)$$

în care:

W_c — pierderile de energie prin efect Joule în conductoare [W/cm]; $W_c = RI^2$;

R — rezistenţa electrică în curent alternativ a conductorului, la temperatura maximă de serviciu [Ω/cm];

I — curentul prin conductor [A];

W'_e — pierderile de energie prin efect Joule în ecranele metalice [W/cm];

$W'_e = n_c \lambda_1 \cdot W_c$;

n_c — numărul de conductoare ale cablului;

λ_1 — raportul dintre pierderile în ecranele metalice şi pierderile totale în conductoare;

W'_a — pierderile de energie prin efect Joule în armăturile de protecţie [W/cm]; $W'_a = n_c \cdot \lambda_2 \cdot W_c$;

λ_2 — raportul dintre pierderile în armăturile de protecţie şi pierderile totale în conductoare;

W_d — pierderile de energie în dielectric [W/cm];

W_{ext} — cantitatea de căldură primită de cablu prin radiaţie de la de la alte surse exterioare de căldură (alte cabluri, conducte calde, radiaţie solară, etc.) [W/cm];

W_{conv} — cantitatea de căldură degajată prin convecție în aer la suprafața de separație a pământului sau canalului în care este pozat cablul [W/cm];

W_{rad} — cantitatea de căldură degajată prin radiație în aer la suprafața de separație a pământului sau canalului în care este pozat cablul [W/cm].

Plecînd de la ecuația (1) se poate stabili un model termic al cablului (fig. 1) cu ajutorul căruia se calculează supratemperatura acestuia

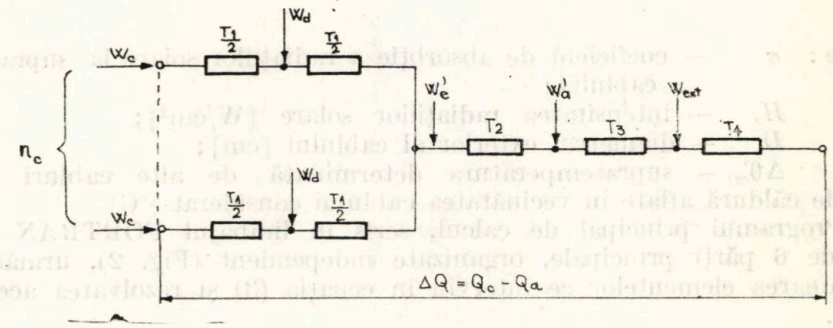


Fig. 1. — Model termic de calcul

$\Delta\theta$ în funcție de pierderile de energie și de rezistențele termice (2) ([1], [2]).

$$\Delta\theta = \left(RI^2 + \frac{1}{2} Wd\right) T_1 + n_c(RI^2(1 + \lambda_1) + W_d)\, T_2 + n_c(RI^2(1 +$$

$$+ \lambda_1 + \lambda_2) + W_d)\,(T_3 + T_4) + W_{ext} \cdot T_4 \qquad [°C] \qquad (2)$$

în care: T_1 — rezistența termică, pe unitatea de lungime și fază, între un conductor și mantaua metalică (sau ecran) [°C · cm/W]:

T_2 — rezistență termică, pe unitatea de lungime, între mantaua metalică (ecran) și armătură [°C · cm./W];

T_3 — rezistența termică, pe unitatea de lungime, a învelișului exterior [°C.cm/W];

T_4 — rezistența termică externă, pe unitatea de lungime, între suprafața cablului și mediul înconjurător [°C.cm/W].

Relația (2) poate fi folosită fie pentru calculul curentului maxim admisibil într-un cablu în funcție de temperatura maximă admisibilă la suprafața sa, dată de normele în vigoare, fie pentru calculul temperaturii finale în regim permanent de lungă durată sub o sarcină electrică dată.

2. Descrierea programului de calcul

În cele ce urmează se va descrie programul general de calcul a valorii maxime admisibile a curentului, pentru tipurile principale de cabluri, în conformitate cu cerinţele Comitetului Internaţional de Electrotehnică şi ale standardelor româneşti.

Ecuaţia de funcţionare sub aspect termic a unui cablu electric este

$$I_{max\,adm} = \left[\frac{\Delta\theta - W_d\,(0{,}5T_1 + n_c(T_2 + T_3 + T_4)) - \sigma D_e H_s T_4 - \Delta\theta'_{ext}}{RT_1 + n_c R(1+\lambda_1)T_1 + n_c R(1+\lambda_1+\lambda_2)(T_3+T_4)} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

în care: σ — coeficient de absorbţie a radiaţiilor solare la suprafaţa cablului;

H_s — intensitatea radiaţiilor solare [W/cm²];

D_e — diametrul exterior al cablului [cm];

$\Delta\theta'_{ext}$ — supratemperatura determinată de alte cabluri sau surse de căldură aflate în vecinătatea cablului considerat [°C]

Programul principal de calcul, scris în limbajul FORTRAN IV, cuprinde 6 părţi principale, organizate independent (Fig. 2), urmărind determinarea elementelor ce intervin în ecuaţia (3) şi rezolvarea acestei ecuaţii.

I. *Programul REZAC*: realizează calculul rezistenţei electrice specifice [Ω/cm] a conductoarelor cablului, în curent continuu şi în curent alternativ, la temperatura maximă de serviciu, ţinînd seama de efectul pelicular al curentului alternativ şi de efectul de proximitate, datorat prezenţei altor cabluri în imediata vecinătate.

Relaţia principală de calcul este (4):

$$R = R_0(1 + \alpha_{20}(\theta - 20))(1 + y_s + y_p) \quad [\Omega/\text{cm}] \tag{4}$$

în care: R — rezistenţa specifică în curent alternativ la temperatura de serviciu [Ω/cm];

R_0 — rezistenţa specifică în curent continuu la 20°C [Ω/cm];

α_{20} — coeficientul de temperatură al rezistivităţii la 20°C [(°C)$^{-1}$];

θ — temperatura maximă de serviciu [°C];

y_s — factorul efectului pelicular;

y_p — factorul efectului de proximitate.

II. *Programul WID*: a fost proiectat pentru calculul pierderilor de energie în dielectricul cablului, la temperatura maximă de serviciu şi la tensiunea nominală. Calculul se realizează cu relaţia (5):

$$W_d = U_0^2 \cdot C \cdot \omega \operatorname{tg}\delta \cdot 10^{-6} \quad [\text{W/cm}] \tag{5}$$

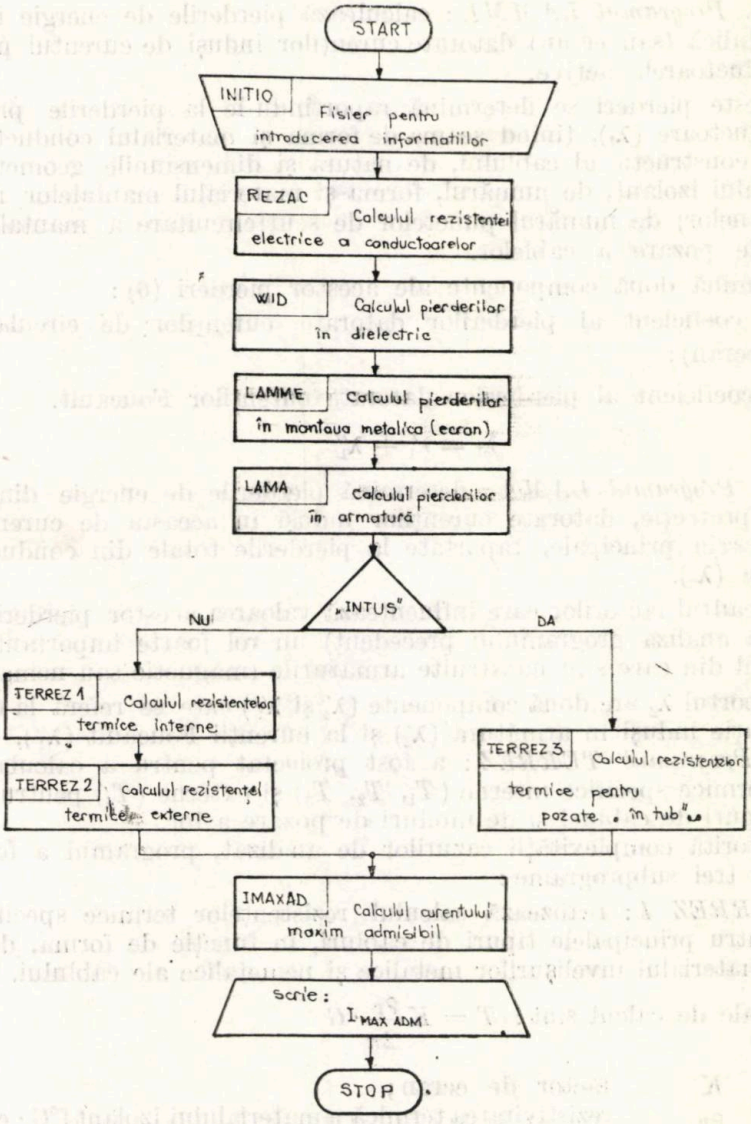


Fig. 2 — Schema logică de calcul a programului principal pentru determinarea valorilor maxime admisibile ale curentului prin cabluri electrice

în care: U_0 — tensiunea efectivă între conductor și mantaua metalică (ecran) [V];

C — capacitatea pe unitatea de lungime și fază [μF/cm];

ω — pulsația curentului alternativ de 50 Hz [s^{-1}];

$tg\delta$ — tangenta unghiului de pierderi dielectrice la frecvența și temperatura maximă de serviciu.

III. *Programul LAMME*: calculează pierderile de energie în mantaua metalică (sau ecran) datorate curenților induși de curentul principal din conductoarele active.

Aceste pierderi se determină raportîndu-le la pierderile principale din conductoare (λ_1), ținînd seama de forma și materialul conductoarelor, tipul de construcție al cablului, de natura și dimensiunile geometrice ale materialului izolant, de numărul, forma și materialul mantalelor metalice (sau ecranelor) de numărul punctelor de scurtcircuitare a mantalelor, de modul de pozare a cablelor.

Se determină două componente ale acestor pierderi (6):

λ_1' — coeficient al pierderilor datorate curenților de circulație din manta (ecran);

λ_1'' — coeficient al pierderilor datorate curenților Foucault.

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1'' \tag{6}$$

IV. *Programul LAMA*: determină pierderile de energie din armătura de protecție, datorate curenților induși în aceasta de curenții din conductoarele principale, raportate la pierderile totale din conductoarele principale (λ_2).

În cadrul factorilor care influențează valoarea acestor pierderi (menționați la analiza programului precedent) un rol foarte important îl are materialul din care sînt construite armăturile (magnetic sau nemagnetic).

Raportul λ_2 are două componente (λ_2' și λ_2'') care se referă la curenții de circulație induși în armătură (λ_2') și la curenții Foucault (λ_2'').

V. *Programul TERREZ*: a fost proiectat pentru a calcula rezistențele termice specifice interne (T_1, T_2, T_3) și externe (T_4) pentru principalele tipuri de cabluri și de moduri de pozare a lor.

Datorită complexității cazurilor de analizat, programul a fost împărțit în trei subprograme:

TERREZ 1: realizează calculul rezistențelor termice specifice interne pentru principalele tipuri de cabluri, în funcție de forma, dimensiunile și materialul învelișurilor metalice și nemetalice ale cablului. Relațiile generale de calcul sînt: $T = K \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot G$

în care: K — factor de ecran;
ρ_T — rezistivitatea termică a materialului izolant [°C · cm/W];
G — factor geometric de formă.

Pentru determinarea factorilor de formă geometrici și a factorilor de ecran care intervin în calcule s-au proiectat subrutine de generare a acestora în conformitate cu recomandările CEI [4].

TERREZ 2: calculează rezistența termică specifică externă pentru tipurile principale de pozare a cablurilor (îngropate individual sau în grupuri egal sau inegal încărcate, în canale de beton îngropate sau semi îngropate, pozate în aer în poziție verticală sau orizontală, individual sau în grup). Multitudinea de posibilități de pozare analizate a condus la organizarea acestui subprogram cu ajutorul a 14 subrutine.

În cazul cablurilor pozate în aer a fost necesară realizarea unor subrutine care să determine analitic iterativ valorile supratemperaturii la suprafața cablului ($\Delta\theta s$) și a coeficientului de disipare a căldurii (h).
În toate cazurile de pozare în aer a cablurilor electrice, rezistența termică specifică externă a fost calculată și în ipoteza prezenței radiației solare directe.

TERREZ 3: realizează calculul rezistențelor termice specifice interne și externe pentru cablurile montate „în tub", soluție foarte modernă de utilizare la maximum a capacității de transport a acestora. Programul de calcul a fost realizat, după o metodă iterativă, în funcție de capacitatea termică a fluidului de răcire.

VI. *Programul IMAXAD*: calculează valoarea maximă admisibilă a intensității curentului prin conductoarele cablului, ținînd seama de prezența radiației solare directe.

Programul poate calcula curenții maximi admisibili pentru cabluri de curent alternativ și pentru cabluri de curent continuu în funcție de temperatura maximă admisibilă și de tensiunea de serviciu.

Sistemul de programe prezentat, cuprinzînd 6 programe principale, 4 subprograme și 30 de subrutine a fost astfel conceput încît programele principale să poată funcționa independent, și prin introducerea unor informații corespunzătoare să poată studia diferite variante în special în domeniul condițiilor de pozare a cablurilor electrice.

Programele principale sînt astfel organizate încît oferă posibilitatea completării lor cu noi variante constructive de cabluri electrice, în măsura concretizării studiilor care se desfășoară în prezent pe plan mondial.

Deoarece programul de calcul necesită un număr important de informații referitoare la construcția cablului și la condițiile de pozare, pentru introducerea în calculator a tuturor acestor date s-a organizat un fișier (INITIO) care permite utilizarea rapidă a programului și micșorează efortul de urmărire a corectitudinii procesului de alimentare a calculatorului cu datele necesare.

Ordinea de introducere a datelor este următoarea:

1. Caracteristici generale: tipul cablului, tensiune, frecvență;
2. Caracteristici geometrice ale cablului: diametre, secțiuni, grosimi de învelișuri;
3. Caracteristici geometrice de pozare: adîncimea de pozare, distanța între axele conductoarelor, forma și dimensiunile canalului;
4. Caracteristici de material: rezistențe electrice, inductivități, rezistivități termice, permeabilități electrice, permitivități magnetice, capacitate electrică, tg. δ, coeficient de absorbție a radiației solare pentru suprafața cablului;
5. Caracteristici ale stării termice: temperatura admisibilă, temperatura mediului ambiant:
6. Indicatori de formă și poziție: forma conductorului, numărul de conductoare, formația de pozare, numărul de mantale, numărul de puncte de scurtcircuitare a mantalei.

A fost realizat de asemenea un ghid de utilizare a programului.

4. Concluzii

Biblioteca de programe concepută pentru calculul valorii maxime admisibile a intensității curentului printr-un cablu electric, în funcție de temperatura admisibilă rezolvă o problemă deosebit de importantă pentru proiectarea și exploatarea rețelelor electrice, contribuind la alegerea unor regimuri permanente de funcționare care utilizează mai bine capacitatea de transport a cablurilor electrice.

Programele principale pot fi utilizate și în calculul unor regimuri termice de durată ale cablurilor electrice la încărcări diferite de sarcina lor nominală, rezolvînd în acest mod și probleme de regimuri forțate de durată limitată.

Pe de altă parte ele pot fi adaptate pentru studii termice urmărind determinarea temperaturilor de funcționare ale rețelei de cabluri la diferite încărcări electrice.

Lucrarea prezentă, printre primele de acest gen realizate în țară, propune o îmbunătățire a standardelor în vigoare pentru studiul acestor probleme, în conformitate cu recomandările Comisiei Electrotehnice Internaționale, care au fost adaptate cerințelor normelor românești.

BIBLIOGRAFIE

1. *M., Bercovici, A. Arie, Al. Poeată,* Rețele electrice. Calcul electric, Editura Tehnică, București, 1974.
2. *A. Poeată, ș. a.,* Transportul și distribuția energiei electrice, Editura didactică și pedagogică Bucureşti, 1981.
3. *P. Slaninka,* External thermal resistance of air-installed power cables, Proceedings IEE nr. 9/1969.
4. x x x Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100%), Publication CEI 287, 1982.
5. x x x Calculul curentului maxim admisibil în regim permanent, STAS 10955—78.
6. *P. Bille,* Echauffement des faisceaux de câbles enterrés, RGE nr. 9/1984.
7. *J. Vermeer,* Une formule simple pour le calcul de la transmission de chaleur par convection entre le conducteur et la gaine dans les câbles à isolation gazeuse, Electra nr. 87/ /1983.
8. *W. Boone, ș. a.,* Essais in situ de câbles à 400 KV à refroidissement latéral, GIGRE—Rapport, du groupe 21, 1982.

A Set of Programs Conception for the Steady — State Study of the Cable Networks in Maximun Heating Conditions

This paper solves the calculation problem of the continuous current rating of cables (100% load factor) by a set of programs conception for the steady-state study of the cable networks in maximum heating conditions.

The analysis covers all cable types used in our country and it's extended over the main buried types.

C.Z.: 621.313.333.027

UN MODEL PENTRU ESTIMAREA COMPORTĂRII MOTOARELOR ELECTRICE ASINCRONE SUPUSE UNOR VARIAŢII ALEATOARE DE FRECVENŢĂ ŞI TENSIUNE

MIHAELA IORDACHE*

După o scurtă analiză a indicatorilor statistici ai abaterilor de frecvenţă şi de tensiune, obţinuţi prin prelucrarea unui număr mare de date provenite din măsurători în reţele electrice industriale, este prezentată o metodă simplă şi eficientă pentru determinarea variaţiei parametrilor motoarelor electrice în funcţie de caracteristicile numerice ale frecvenţei şi tensiunii de alimentare; cunoaşterea legilor de repartiţie nu este în general necesară pentru estimarea unor daune medii probabile de calitate.

Relaţiile de calcul utilizate în literatura de specialitate pentru estimarea variaţiei diverşilor parametri ai motorului electric sub influenţa condiţiilor de alimentare de la reţea sînt în general exprimate într-o *formulare deterministică* [1]. Ele exprimă legături de tip cauză — efect, dar probabilitatea de apariţie a unui anumit efect aleator, de exemplu, variaţia puterii absorbite de motor de la reţea, în funcţie de probabilitatea de manifestare a anumitor cauze aleatoare, cum ar fi variaţiile de frecvenţă şi tensiune de alimentare, nu este cunoscută.

Modelarea probabilistică a comportării motorului la variaţii aleatoare ale frecvenţei şi tensiunii sale de alimentare urmăreşte transpunerea ecuaţiilor cauzale, de dependenţă a parametrilor motorului de frecvenţa şi tensiunea de alimentare, într-o formă probabilistică. Cunoscînd densităţile de repartiţie şi indicatorii statistici de localizare şi împrăştiere ai variabilelor aleatoare cauză, precum şi forma ecuaţiei deterministice cauză — efect, se urmăreşte determinarea densităţii de repartiţie şi a indicatorilor statistici de localizare şi împrăştiere pentru variabila aleatoare efect.

În cele ce urmează sînt considerate variabile aleatoare cauză frecvenţa (f) şi tensiunea de alimentare (u), exprimate în mărimi relative prin raportare la valorile nominale, iar variabile aleatoare efect sînt diverşi parametri ai motorului electric.

1. Consideraţii cu privire la legea de repartiţie a frecvenţei (f)

În condiţiile normale de funcţionare, abaterea frecvenţei de la valorile admisibile reflectă funcţionarea sistemelor energetice cu rezervă de putere de reglaj insuficientă şi izolat de celelalte sisteme interconectate.

Lipsa rezervei turnate de putere determină adoptarea unor măsuri de scădere artificială a sarcinii, pe calea menţinerii frecvenţei la un nivel mai mic decît cel nominal, pe toată perioada deficitului de putere. Puterea

* Şef lucrări ing., catedra Centrale şi reţele electrice

solicitată generatoarelor din sistem de ansamblul consumatorilor alimentaţi variază în fiecare moment, provocînd variaţii aleatoare ale frecvenţei în jurul valorii medii.

Analizînd distribuţiile zilnice de frecvenţă în cadrul sistemului energetic naţional, încă din perioada 1979—1981 se poate constata un nivel de frecvenţă mai coborît la orele de vîrf faţă de valoarea nominală, ca urmare a măsurilor luate pentru reducerea cererii de putere a consumatorilor în aceste intervale. În perioada următoare s-a înregistrat o deplasare permanentă a valorii medii anuale spre valori mai coborîte şi o împrăştiere mai mare a frecvenţelor faţă de valoarea medie, probabilitatea ca valoarea frecvenţei să fie cuprinsă pe parcursul unui an între valorile admisibile fiind din ce în ce mai scăzută (22% în 1982 faţă de numai 2% în 1985).

Legile de distribuţie ale repartiţiilor, rezultate în urma prelucrărilor statistice anuale ale variaţiilor de frecvenţă faţă de valoarea nominală pentru perioada 1982—1985, *nu pot fi în general aproximate prin legea de distribuţie Gauss — Laplace*, în unele situaţii rezultînd chiar distribuţii bimodale, datorate funcţionării în perioada iarnă — primăvară cu valori sensibil mai coborîte de 50 Hz.

În aceste condiţii, prezintă un interes deosebit studierea modului de variaţie a principalilor parametri ai motoarelor electrice, ca efect al alimentării acestora la un nivel de frecvenţă sub cel nominal.

1. Consideraţii cu privire la legea de repartiţie a tensiunii *(u)*

Datorită caracterului aleator al formării sarcinilor electrice, variaţiile continue ale tensiunii în timp şi spaţiu au, de asemenea, un caracter aleator. Spre deosebire însă de frecvenţă, a cărei variaţie este aceeaşi în oricare punct al sistemului energetic, tensiunea este sensibil dependentă, ca nivel şi limite de variaţie, de locul în care este măsurată.

În cele ce urmează, pentru o mai deplină analiză cantitativă a calităţii tensiunii sînt folosite metode ale teoriei probabilistice şi ale statisticii matematice, aplicate unor *eşantioane de date*, obţinute prin înregistrări de tensiune pe barele de joasă tensiune ale unor posturi de transformare industriale. Pentru prelucrarea statistică, înregistrările continue, obţinute cu ajutorul voltmetrelor înregistratoare, au fost discretizate în raport cu parametrul timp, pasul de discretizare ales fiind de 10 minute. Durata de înregistrare variază între o săptămînă şi o lună, urmărindu-se stabilirea unor curbe caracteristice de variaţie a tensiunii pe schimburi, pe zile lucrătoare sau de repaus etc.

Prin determinarea primelor momente statistice este posibilă nu numai estimarea celor mai des folosiţi indicatori statistici ai mărimii aleatoare (valoarea medie, dispersia etc.), dar şi obţinerea legii sale de distribuţie. Legea de distribuţie a abaterilor de tensiune într-un anumit punct al reţelei determină calitatea tensiunii în punctul respectiv din punct de vedere al mărimii, semnului şi duratei sale. În aceste condiţii,

valorile considerate ca limite admisibile ale abaterilor de tensiune pot fi considerate ca valori de graniță, corespunzătoare unei anumite probabilități de variație a tensiunii între aceste limite. Astfel, de exemplu, conform GOST 13109—67, valorile indicatorilor de calitate a energiei electrice trebuie să fie cuprinse între limitele admisibile cu o probabilitate integrală de 95%.

În figura 1 sînt prezentate cîteva repartiții caracteristice pentru variația tensiunii pe barele de joasă tensiune ale unor întreprinderi industriale, avînd receptoare electrice relativ diferite ca tip, caracteristici

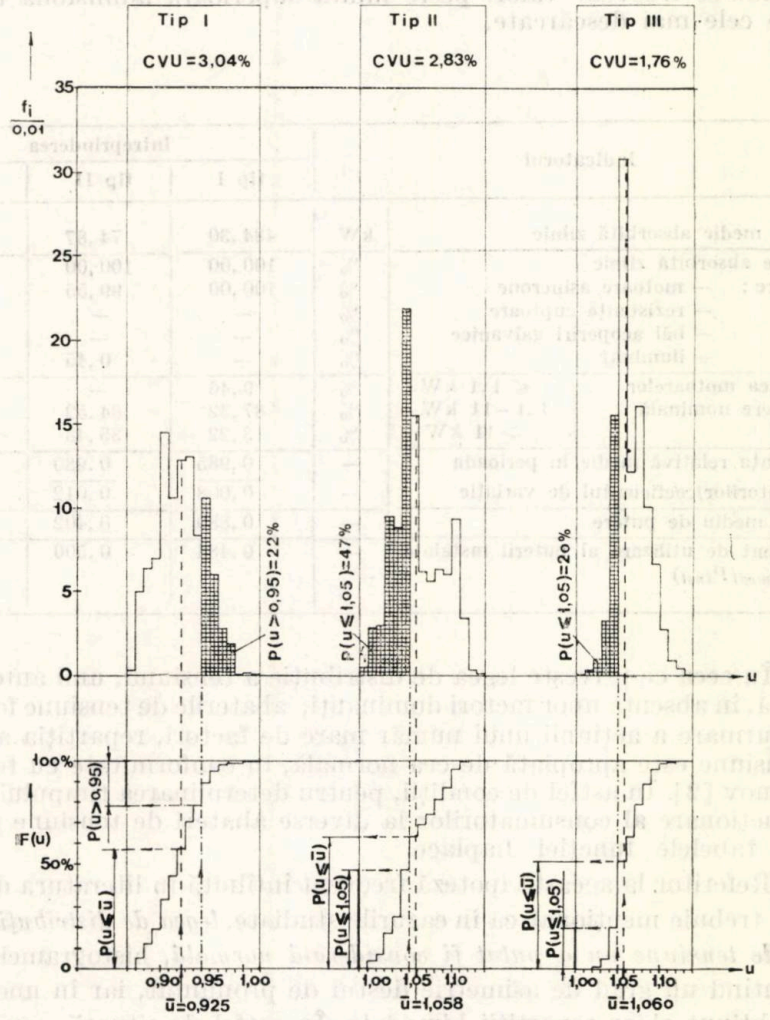


Fig. 1 — Histograme și repartiții relative pentru variația tensiunii în întreprinderi industriale

nominale, regim de funcţionare energo — tehnologică (tabelul 1), iar în tabelul 2 sînt prezentaţi cîţiva dintre indicatorii statistici cei mai des folosiţi în literatura de specialitate pentru aprecierea calităţii tensiunii de alimentare. Din analiza datelor prelucrate se poate constata că în multe din actualele reţele de distribuţie industriale, nivelul mediu de tensiune se abate de la limitele admise conform STAS 930/75, în special în domeniul valorilor superioare, limita inferioară de -5% fiind relativ rar atinsă. Probabilitatea ca abaterile de tensiune să se găsească în intervalul admis de $\pm 5\%$ este foarte scăzută (cu mult sub valoarea de 95% recomandată de GOST 1310—67). În întreprinderile care lucrează în trei schimburi inegal încărcate, nivelul de tensiune este variabil pe parcursul zilei, înregistrîndu-se frecvent valori peste limita superioară admisibilă în schimburile cele mai descărcate.

Tabelul 1

Indicatorul			Intreprinderea		
			tip I	tip II	tip III
Putere medie absorbită zilnic		kW	484,30	74,87	173,71
Energie absorbită zilnic		%	100,00	100,00	100,00
din care : — motoare asincrone		%	100,00	99,55	24,20
— rezistenţe cuptoare		%	—	—	72,67
— băi acoperiri galvanice		%	—	—	2,49
— iluminat		%	—	0,45	0,64
Ponderea motoarelor	$\leqslant$ 1,1 kW	%	9,46	—	53,27
cu putere nominală	1,1—11 kW	%	87,32	64,52	46,73
	>11 kW	%	3,22	35,48	—
Frecvenţa relativă medie în perioada		—	0,985	0,980	0,970
măsurătorilor/coeficientul de variaţie		—	0,008	0,012	0,014
Factor mediu de putere		—	0,880	0,402	0,870
Coeficient de utilizare al puterii instalate ($k_u = P_{med}/P_{inst}$)		—	0,484	0,500	0,276

În ceea ce priveşte legea de distribuţie a tensiunii, unii autori consideră că, în absenţa unor factori dominanţi, abaterile de tensiune formîndu-se ca urmare a acţiunii unui număr mare de factori, repartiţia abaterilor de tensiune este apropiată de cea normală, în conformitate cu teorma lui Liapunov [2]. În astfel de condiţii, pentru determinarea timpului probabil de funcţionare al consumatorilor la diverse abateri de tensiune pot fi folosite tabelele funcţiei Laplace.

Referitor la această ipoteză frecvent întîlnită în literatura de specialitate, trebuie menţionat că în cazurile studiate, *legea de distribuţie a abaterilor de tensiune nu a putut fi considerată normală*, histogramele trasate prezentînd un grad de asimetrie destul de pronunţat, iar în unele cazuri s-au obţinut chiar repartiţii bimodale. În astfel de situaţii, aproximarea legii reale de distribuţie a variaţiilor de tensiune prin legi teoretice de distribuţie este de multe ori dificil de realizat.

Tabelul 2

Indicator statistic	U.M.	Industrie textilă (tip I)				Industrie alimentară (tip II)				Industrie constructoare de mașini (tip III)			
		Schimb I	Schimb II	Schimb III	total eșantion	Schimb I	Schimb II	Schimb III	total eșantion	Schimb I	Schimb II	Schimb III	total eșantion
$\bar{u}$	—	0,911	0,938	0,923	0,925	1,049	1,059	1,067	1,058	1,055	1,061	1,063	1,060
σ_u	—	0,029	0,027	0,021	0,029	0,029	0,028	0,030	0,029	0,019	0,017	0,019	0,019
CVU	%	3,22	2,93	2,33	3,04	2,73	2,65	2,83	2,83	1,82	1,60	1,78	1,76
$P(u \leqslant \bar{u})$	%	65	50	64	57	51	62	58	63	63	62	55	51
u_{min}	—	0,86	0,87	0,87	0,86	0,99	0,99	1,00	0,99	0,995	1,005	1,015	0,995
$P(u \leqslant u_{min})$	%	1,54	1,38	2,15	1,54	0,42	1,17	0,86	0,55	0,25	0,12	0,61	0,08
u_{max}	—	0,99	1,02	0,99	1,02	1,12	1,13	1,14	1,14	1,125	1,115	1,135	1,135
$P(u > u_{max})$	%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$P(0,95 < u \leqslant 1,05)$	%	12	40	10	22	51	39	31	47	32	15	14	20

Lista notațiilor din tabel

$\bar{u}$ — valoarea medie a tensiunii pe barele de j.t. ale postului;
σ_u — abatere medie pătratică a tensiunii pe bare;
CVU — coeficient de variație a tensiunii pe bare;
u_{min} — valoare minimă a tensiunii pe bare;
u_{max} — valoare maximă a tensiunii pe bare;
$P(0,95 < u \leqslant 1,05)$ — probabilitatea ca tensiunea să se găsească între limitele admise de STAS 930/75.

3. Determinarea principalilor indicatori statistici ce reflectă comportarea motoarelor asincrone la variații aleatoare de frecvență și tensiune

În condițiile în care forma densităților de repartiție ale variabilelor cauză este diferită de cea normală, determinarea densității de repartiție necunoscute a variabilei efect în funcție de densitățile de repartiție ale variabilelor cauză este, în general, dificilă și nu este posibilă din punct de vedere practic decît pentru ecuații cauză efect liniare.

De cele mai multe ori, în practică nu este necesară însă determinarea completă a legii de repartiție a parametrului studiat în funcție de variabilele aleatoare cauză, fiind în general suficientă modelarea răspunsului motorului prin determinarea cîtorva caracteristici numerice ale variabilei efect (valoare medie și eventual, abatere medie pătratică). Calculul caracteristicilor numerice ale funcțiilor, cunoscîndu-le pe acelea ale argumentelor, este frecvent utilizat în teoria probabilităților, simplificînd mult soluționarea a numeroase probleme, cu observația că aceste metode de calcul sînt de regulă aplicabile funcțiilor liniare.

Dezvoltînd în serie Taylor funcția care exprimă relația cauzală între variabilele aleatoare cauză (f și u) și variabila aleatoare efect (un parametru oarecare Y al motorului), în imediata vecinătate a punctului avînd drept coordonate valorile medii ale frecvenței (f) și tensiunii de alimentare ($\bar{u}$) și reținînd doar trmenii liniari, se poate obține expresia liniarizată a parametrului Y [3]:

$$Y = Y(f, u) = Y(\bar{f}, \bar{u}) + \left(\frac{\partial Y}{\partial f}\right)_M \cdot (f - \bar{f}) + \left(\frac{\partial Y}{\partial u}\right)_M \cdot (u - \bar{u}), \quad (1)$$

în care indicele M de la derivatele parțiale simbolizează faptul că acestea se calculează pentru valorile medii ale variabilelor.

Funcției astfel liniarizate i se pot aplica metodele de calcul cunoscute pentru determinarea principalelor caracteristici numerice. Argumentele centrate $(f - \bar{f})$ și $(u - \bar{u})$ avînd valorile medii nule, valoarea medie a parametrului Y se poate exprima cu suficientă aproximație pentru calcule practice prin relația:

$$\bar{Y} \approx Y(\bar{f}, \bar{u}) \quad (2)$$

În aceleași ipoteze, dispersia parametrului Y se poate obține în funcție de derivatele de ordinul unu ale funcțiilor determinate în raport cu variabilele f și u, înlocuindu-se apoi aceste variabile cu valorile lor medii:

$$DY = \left(\frac{\partial Y}{\partial f}\right)_M^2 \cdot Df + \left(\frac{\partial Y}{\partial u}\right)_M^2 \cdot Du + 2\left(\frac{\partial Y}{\partial f}\right)_M \cdot \left(\frac{\partial Y}{\partial u}\right)_M \cdot Cfu \quad (3)$$

în care: Df, Du sînt dispersiile frecvenței, respectiv tensiunii de alimentare;

Cfu — covarianța variabilelor aleatoare f și u.

Trebuie remarcat că întucît în expresia (3) derivatele parțiale ale funcției Y se calculează pentru valorile medii ale variabilelor, aceste derivate parțiale intervin în calcule ca valori numerice, nu ca funcții. Relațiile (2) și (3) sînt cu atît mai apropiate de soluția exactă cu cît neliniaritatea funcției Y este mai mică și cu cît coeficienții de variație ai variabilelor $\bar{f}$ și $\bar{u}$ sînt mai mici. De exemplu, pentru o funcție $Y = Af^2 + Bf + C$, dacă $CVf = \frac{\sigma_f}{\bar{f}} < 0{,}1$, eroarea datorită liniarizării este sub 1%.

În general, pentru aprecierea aspectelor economice pe durata nerespectării indicatorilor de calitate ai energiei electrice prezintă interes valoarea medie probabilă a daunei pe care o suportă consumatorul în această perioadă, iar diversele componente ale acestei daune medii probabile pot fi estimate pornind de la valorile medii pe care le capătă diverși parametri ai motorului, într-un interval de timp în care valoarea medie a frecvenței de alimentare este $\bar{f}$, iar a tesiunii este $\bar{u}$. Astfel, de exemplu, expresia (2) poate fi aplicată pentru determinarea *puterii medii probabile solicitate de motor de la rețeaua de alimentare*, în funcție de frecvența și tensiunea medie a acestei rețele.

În cazul general, puterea activă P_1 absorbită de motor de la rețea se poate determina în funcție de datele de catalog ale motorului respectiv, de cuplul relativ rezistent (m) opus la arbore de mecanismul antrenant și de condițiile de alimentare de la rețea [1]. Pentru cuplul rezistent independent de turație, efectuînd toate transformările necesare, relația (2) scrisă pentru puterea activă absorbită de la rețea devine:

$$P_1 = [\Delta p_{Fen}(0{,}61\bar{f} + 0{,}39\bar{f}^2) + C_3]k_{uf}^2 + C_1\left(1 - \frac{s_{cr}}{\bar{f}b_2}\right)m\bar{f} +$$

$$+ C_2\left(1 - \frac{s_{cr}}{\bar{f}b_2}\right)^2\bar{f}^2 + C_4\left(\frac{1}{b_2^2} + 1\right)\left(\frac{m}{k_{uf}}\right)^2 + C_5\frac{m}{b_2} \qquad (4)$$

în care: $k_{uf} = \frac{\bar{u}}{\bar{f}}$;

$$b_2 = b_{rez} + \sqrt{b_{rez}^2 - 1};$$

$$b_{rez} = b_n \cdot \frac{k_{uf}^2}{m};$$

m — cuplul relativ rezistent;

b — multiplul cuplului maxim al motorului;

s_{cr} — alunecarea critică a motorului;

Δp_{Fen} — pierderile în fier nominale ale motorului, în kW;

$C_1 \ldots C_5$ — coeficienți ce se pot determina în funcție de mărimile din regim nominal de funcționare a motorului ($f = u = m = 1$).

În condițiile în care în rețelele industriale actuale, frecvența și tensiunea ating limitele $\bar{f} = 0{,}94$, respectiv $\bar{u} = 1{,}2$ — pentru seria de motoare asincrone de uz general se pot face următoarele aproximații :

$$b_2 \approx 2b_{rez}, \quad \frac{1}{b_2^2} + 1 \approx 1, \quad 1 - \frac{s_{cr}}{\bar{f} b_2} \approx 1.$$

Atunci relația (4) se poate pune sub o formă mai comodă pentru interpretări :

$$P_1 = (C_1 m + 0{,}61 \Delta p_{Fen} k_{uf}^2)\, \bar{f} + (C_2 + 0{,}39 \Delta p_{Fen} k_{uf}^2)\, \bar{f}^2 + C_3 k_{uf}^2 + \frac{C_0 m^2}{k_{uf}^2},$$

în care :

$$C_0 = C_4 + \frac{C_5}{2b_n}. \tag{5}$$

După cum se poate remarca, în relația (5) puterea absorbită de la rețea nu depinde explicit de tensiunea $\bar{u}$, ci de raportul k_{uf} dintre tensiunea și frecvența medie de alimentare a motorului.

Pentru cazul particular în care $k_{uf} = 1$, relația (5) devine :

$$P_1 = A \bar{f}^2 + B\bar{f} + C, \tag{6}$$

în care : $A = C_2 + 0{,}39 \Delta p_{Fen}$,

$B = C_1 m + 0{,}61 \Delta p_{Fen}$,

$C = C_3 + C_0 \cdot m^2$

Analog se poate aplica expresia (2) și în cazul altor parametri ai motorului electric, cum ar fi de exemplu puterea reactivă medie absorbită de motor de la rețeaua de alimentare :

$$Q_1 = C_6 \cdot \bar{f} \cdot k_{uf}^2 + \frac{C_7}{2b_n} \cdot m^2 \cdot \frac{\bar{f}}{k_{uf}^2}, \tag{7}$$

în care : C_6 și C_7 sînt coeficienți ce se pot determina de asemenea în funcție de mărimi din regimul nominal de funcționare pentru care $f = u = m = 1$.

4. Concluzii

1. Indicatorii statistici de localizare şi împrăştiere ai frecvenţei şi, respectiv, ai tensiunii de alimentare, determinaţi pentru reţele industriale, se abat în general sensibil de la limitele admise conform normativelor de calitate a energiei electrice.

2. Repartiţia abaterilor de frecvenţă şi tensiune nu este de obicei aproximabilă prin legea normală şi în astfel de situaţii, determinarea legilor de repartiţie ale parametrilor motoarelor electrice în funcţie de variabilele f şi u nu este în general posibilă.

3. Pentru estimarea daunelor medii probabile provocate în reţelele industriale de abaterile aleatoare de frecvenţă şi tensiune este suficientă determinarea valorilor medii ale diverşilor parametri ai motoarelor electrice, în funcţie de valorile medii ale frecvenţei şi tensiunii de alimentare, cunoaşterea legilor de reparţiţie nefiind neapărat necesară.

4. Determinarea valorilor medii pentru diverşi parametri ai motoarelor electrice, consideraţi ca variabile aleatoare efect, este posibilă cu suficientă precizie pentru calcule practice, liniarizînd ecuaţiile cauzale de dependenţă prin dezvoltare în serie Taylor în jurul valorilor medii ale variabilelor cauză ($\bar{f}$ şi $\bar{u}$).

BIBLIOGRAFIE

1. *I. A. S'romiatnikov*, Rejimî raboti asinhronnih i sinhronnih electrodvigatelei. Moscova — Leningrad. GOSENERGOIZDAT, 1963.
2. *M. S. Levin, ş. a.*, Kacestvo elektroenerghii v setiah seliskih raionov. Moscova. Energhia, 1975.
3. *H. Venţel*, Théorie des probabilités. Moscova. Mir, 1973.
4. *D. Lungu, D. Ghiocel*, Metode probabilistice. Bucureşti, Editura tehnică, 1982.

Un modèle pour estimer le comportement des moteurs électriques asynchrones soumis aux variations aléatoires de la fréquence et de la tension

Après une succinte analyse des indicateurs statistiques de la fréquence et de la tension dans les réseaux industrieles, fournis par la prélucration des données statistiques expérimentales, on présente une méthode efficace pour prédéterminer les caractéristiques numériques des paramèters aléatoires des moteurs asynchrones d'après les caractéristiques numériques des arguments (la fréquence et la tension d'alimentation), laissant de côté les lois de répartition dans l'estimation des dommages dûes à la qualité d'énergie électrique.

C.Z.: 504.054

CONSIDERAȚII PRIVIND RĂSPÎNDIREA IN SPAȚIUL TERESTRU A AGENȚILOR POLUANȚI

I. CRISTEA *

În lucrare se studiază problema poluării mediului ambiant și factorii care influențează răspîndirea agenților poluanți în atmosferă.

În etapa actuală, în lume, poluarea mediului ambiant și-a întins amenințarea asupra întregii planete, putem spune, că a ajuns la un punct în care atacă dezlănțuit omul și mediul său de existență. Trecînd peste limitele capacității proprii de apărare ale naturii, de regenerare, de echilibrare, toți agenții poluanți noi se răspîndesc cu iuțeală în aer, apă și pe sol, generînd, dezvoltînd și propagînd unul din cele mai grave pericole pe care le-a întîmpinat actualul tip de civilizație modernă.

Pentru o analiză mai profundă a echilibrelor ecologice și a perturbațiilor lor posibile, este necesar a se recurge la studiul aspectelor lor termodinamice. Din acest punct de vedere atît organismele individuale, cît și populațiile, comunitățile și sistemele ecologice pot fi privite prin prisma nu numai a fluxului energetic, ci și a celui de informație, care capătă o importanță preponderentă în ecologia umană. Deși nu se vorbește încă despre relații matematice cantitative în acest domeniu, totuși tendința generală a cercetătorilor este de a căuta cel puțin SURSA TENDINȚELOR, din evoluția comunităților ecologice în principii fizico-matematice mai generale cu aplicații și confirmări practice în biologie.

În acest cadru general, fixat de tendința termodinamică, nu putem preciza nici viteza și nici căile de răspîndire a agenților poluanți. Aceste grade de libertate permit o serie întreagă de variante în efectuarea practică a răspîndirii agenților poluanți. Se poate, prin urmare, vorbi despre mai multe căi de răspîndire a agenților poluanți și de mai mulți vectori sau purtători ai acestor agenți.

Un caz particular în dinamica răspîndirii agenților poluanți îl constituie radiațiile ionizante și cele de zgomot. Zgomoul se răspîndește conform legilor acusticii, cu viteza sunetului, dar se stinge de la sine cînd sursa sonoră își înceteză acțiunea. Cu totul altfel se pune problema în cazul radiațiilor ionizante, produse, spre exemplu ca urmare a unei explozii nucleare,

* Ing. coordoator al sistemului energetic local

și la care nuclizii radioactivi nu sînt poluanții propriu-ziși, ci vectori ai capacității de dezintegrare radioactivă, cu emisie de radiații ionizante.

Aici, nuclizii radioactivi, a căror existență poate dura cîteva miliarde de ani, nu prezintă pericol, decît în perioada ultimelor fracțiuni de secundă din viața lor, cînd se produce emisia radioactivă. În aceasta constă deosebirea lor, spre exemplu, față de moleculele de pesticide, care au o acțiune toxică tot timpul existenței lor.

Acest efect, care oferă o perioadă de latență acțiunii periculoase a radionuclizilor, este însă complet mascat de faptul că ei nu se prezintă niciodată izolați, ci aglomerați în număr foarte mare, astfel că aproape continuu, în masa respectivă de material radioactiv se vor produce dezintegrări aleatorii, cu generarea de radiații ionizante periculoase. Așa spre exemplu, un gram de tritiu care conține circa $2. \times 10^{23}$ nuclee de tritiu dezintegrabile, ceea ce, avînd în vedere perioada de înjumătățire, revine la o activitate de 15.000 Ci, adică în fiecare secundă, în acest gram de tritiu, se vor dezintegra peste 5×10^{14} nuclee. Din această cauză, radioizotopii, și în general substanțele radioactive, sînt considerați, la nivelul nostru actual de observație, drept agenți nocivi permanenți, deosebit de periculoși pentru întreaga biosferă.

Reprezentarea matematică a dinamicii poluării este o problemă deosebit de complexă, deoarece ea depinde de o multitudine de factori, fiecare cu caracteristicile sale și care în anumite condiții concrete pot prezenta multe interdependențe perturbatorii atît între ei cît și cu factorii mediului înconjurător sau cu cei economici și sociali de la un moment dat. Așa spre exemplu, evaluarea producției de deșeuri industriale, în general, se poate face cu ecuația (1) în care E. W. Peterson consideră că această producție este funcție de gradul de industrializare local, de creșterea populației, și de eficiență a măsurilor de control pe linia limitării poluării.

$$w = (1 + ht)[(1 - b)e^{-gt} + b]e^{rt} \qquad (1)$$

Formula (1) nu dă cifre absolute, ci valori de referință la un an luat ca bază în calcul. În formula (1) s-a notat cu : w — funcția ratei de producție a deșeurilor industriale (prin deșeuri industriale înțelegem toți agenții poluanți ai unor regiuni industriale moderne); prin h — s-a notat rata dezvoltării industriale în funcție de productivitatea pe un locuitor al regiunii considerate în anul de bază; prin b — s-a notat producția de deșeuri pe un locuitor în anul de bază; prin g — s-a notat un factor care caracterizează eficiența măsurilor de control și limitare a poluării, iar prin r s-a notat rata creșterii populației.

Pentru a se ajunge la formule și calcule mai precise este nevoie de o modelare matematică a procesului de producție a agentului poluant precum și a circulației sale în mediul ambiant. Așa spre exemplu, nu este suficient să vorbim depre o concentrație globală a agentului poluant, într-o anumită zonă industrială, ci este foarte important să se cunoască punctele de emisie, căile de deplasare, punctele de concentrare pe aceste căi de răspîndire în mediul ambiant sau în lanțurile trafice naturale.

Pornind de la faptul că generarea agenților poluanți, respectiv prevenirea acestor emisiuni, este și trebuie să fie actul primordial în rezol-

varea problemei prevenirii poluării mediului ambiant, va trebui să studiem anumite particularități ale fenomenelor de emisie a agenților poluanți, deoarece poluarea, odată produsă, nu ajunge la dezvoltarea ei maximă decît după ce acești agenți au părăsit locul lor de generare și au fost injectați în factorii de mediu.

Întrucît această problemă este fundamentală în studiul poluării mediului ambiant, ne-am propus să insistăm asupra unor detalii (care deși sînt cunoscute din literatura de specialitate, nu întotdeauna se pot influența factorii care le determină) care caracterizează transportul agenților poluanți de la locul de generare (de emisie) în volumul mediului ambiant.

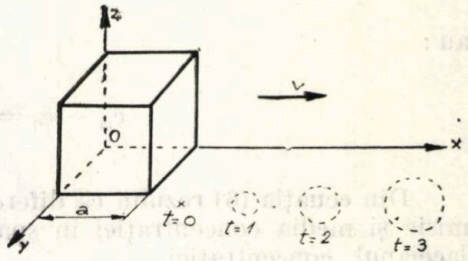


Fig. 1

Dacă, spre exemplu, se admite că agentul poluant este generat în punctul 0 (x, y, z) și că acolo are concentrația C_0, iar după un timp, difuzează în direcția axei $0x$ (figura 1) și va ajunge la concentrația medie C_m, atunci valoarea acestei concentrații medii se poate afla, teoretic, cu formula (2)

$$a^3 c_m = \int_{-\frac{a}{2}}^{+\frac{a}{2}} \int\int\int c \, dx \, dy \, dz \tag{2}$$

Dacă în ecuația (2) dezvoltăm pe c în serie Taylor, atunci obținem relația (3)

$$c = c_0 + x\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_0 + y\left(\frac{\partial c}{\partial y}\right)_0 + z\left(\frac{\partial c}{\partial z}\right)_0 + \\ + \frac{1}{2} x^2 \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}\right)_0 + y^2 \left(\frac{\partial^2 c}{\partial y^2}\right)_0 + z^2 \left(\frac{\partial^2 c}{\partial z^2}\right)_0 + \tag{3}$$
$$+ xy\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x \partial y}\right)_0 + yz\left(\frac{\partial^2 c}{\partial y \partial z}\right)_0 + zx\left(\frac{\partial^2 c}{\partial y \partial z}\right)_0 + \ldots\ldots$$

Introducînd valoarea din ecuația (3) sub semnul integralei din ecuația (2) și integrînd în volumul cubului cu latura a toate integralele care conțin puteri impare precum și produsele de variabile, dispar prin simetrie, rămînînd termenul $a^3 C_0$ și termenii de puteri pare. Cum însă:

$$\int_{-\frac{a}{2}}^{+\frac{a}{2}} \int\int\int x^2 \, dx \, dy \, dz = \frac{a^5}{12} \tag{4}$$

şi eliminînd derivatele de ordin superior ale lui C, vom ajunge la ecuaţia de forma (5) sau (6).

$$a^3 c_m = a^3 c_0 + \frac{a^5}{24} (\nabla^2 C)_0 \tag{5}$$

sau :

$$c_m - c_0 = \frac{a^5}{24} (\nabla^2 c)_0 \tag{6}$$

Din ecuaţia (6) rezultă că diferenţa de concentraţie între punctul de emisie şi media concentraţiei în spaţiul înconjurător va depinde de laplaceianul concentraţiei.

Acelaşi mod de calcul se poate aplica şi cînd avem dat un anumit cîmp al concentraţiilor agentului poluant în aer şi se cere să se afle care este concentraţia într-un punct sau într-o zonă dată, în funcţie de concentraţia medie din spaţiul înconjurător punctului de emisie şi gradienţii de concentraţie. Din această judecată, se poate deduce şi relaţia matematică (7) pentru viteza de difuzie :

$$\frac{\mathrm{d}c}{\mathrm{d}t} = D\nabla^2 c \tag{7}$$

Acest mod de calcul se poate aplica în condiţiile unei atmosfere terestre relativ liniştite, aşa cum s-ar produce fenomenul într-un laborator cu uşile închise. În realitate, în atmosfera liberă, care există la un moment dat în mediul ambiant, şi în care nu există niciodată o „linişte" perfectă ci vor exista în permanenţă anumite turbulenţe, care vor face ca în procesul de dispersie a agenţilor poluanţi să intervină, pe lîngă difuzia moleculară, şi o mişcare de masă a aerului, care se face sub formă de vîrtejuri.

Este interesant de remarcat, în acest sens, că dacă în atmosferă suflă un vînt constant şi în regim laminar, atunci calculul dispersiei agenţilor poluanţi se poate face prin ipoteza difuziei simple, dacă este în discuţie o emisie instantanee (explozie), deoarece în acest caz întreaga masă de aer poluat se presupune că suferă o mişcare de translaţie odată cu aerul antrenat de vîntul respectiv în direcţia V.

Este de reţinut şi faptul că fenomenul de turbulenţă accentuează dispersia agenţilor poluanţi. Din punct de vedere matematic se poate studia difuzia agenţilor poluanţi şi în aceste cazuri ca şi în cazul difuziei clasice, admiţîndu-se ipoteza că şi vîrtejurile turbulente prezintă o oarecare regularitate.

De asemenea, difuzia turbulentă poate fi concepută şi ca un proces discontinuu, presupunînd că elementul de schimb (de difuzie) suferă o serie de interacţiuni cu celelalte elemente de schimb, care îi schimbă direcţia de propagare, la întîmplare. Rezolvîndu-se printr-un model matematic adecvat această problemă, se ajunge la rezultate similare (şi competitive) cu acelea obţinute la difuzia clasică, respectiv cele două metode prezentate fiind echivalente.

Pentru rezolvarea numerică a ecuațiilor de dispersie în atmosferă este necesar a se stabili condițiile inițiale și cele la limită. Spre exemplu, este important a se preciza dacă emisia agentului poluant s-a făcut instantaneu sau dacă se face în mod continuu, dacă sursa de emisie este punctiformă, liniară sau în suprafață. Pentru simplitate se admite că sursa este punctiformă și este amplasată într-un mediu definit și izotop, în care singurul element exterior care provoacă o mișcare simplă de translație este vîntul, constant ca viteză și direcție.

Unul dintre cazuri, destul de obișnuit în practică, este cel reprezentat de o sursă de poluare punctiformă și cu apariție instantanee, mai ales, ca urmare a unor defecțiuni accidentale în industrie, inclusiv în centralele nuclearoelectrice.

Aplicînd principiul exprimat în ecuația (7) pentru simetrie sferică, vom obține ecuația (8).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \frac{\partial c}{\partial r}\right) \tag{8}$$

Pentru rezolvarea acestei ecuații, de regulă, se utilizează condițiile din figura (1), astfel:

pentru : $t \to 0$; $c \to 0$, iar $r > 0$

pentru : $t \to \infty$; $c \to 0$

Prima condiție reprezintă faptul fizic al necontaminării mediului ambiant înainte de ajungerea agenților poluanți în spațiul înconjurător, iar a doua condiție reprezintă faptul că difuzia continuînd fără încetare, după un timp foarte lung, agentul poluant se va dispare în volume de aer așa de mari, încît concentrația sa va deveni nesemnificativă.

O condiție, pe care se pune tot mai mult accent în ultimul timp este și aceea că substanțele poluante nu se pierd pe drum ci că ele se acumulează în mediul înconjurător adică:

$$Q = \int_{-\infty}^{+\infty}\int\int\int c \, dx \, dy \, dz \tag{9}$$

în care Q = cu cantitatea totală de substanță poluantă emisă.

În toate calculele prezentate, cea mai grea problemă este aceea a stabilirii coeficientului de difuzie turbulentă, care variază cu viteza vîntului, cu condițiile atmosferice etc.

Înfăptuirea politicii Partidului Comunist Român de protecție a mediului ambiant în Republica Socialistă România se realizează conform Legii nr. 9/73 prin care se exprimă în mod clar scopul, pe plan natural și social, obligația tuturor organelor de stat, a întreprinderilor și a institu-

ţiilor precum şi a cetăţenilor pentru păstrarea şi menţinerea echilibrului ecologic, ameliorarea calităţii factorilor naturali, dezvoltarea valorilor naturale ale ţării în vederea asigurării unor condiţii de viaţă şi de muncă tot mai bune atît pentru generaţiile actuale cît şi pentru cele viitoare.

Considérations sur la diffusion des polluants dans l'atmosphère

On étudie la pollution atmosphérique et l'influence des différents facteurs sur la propagation des polluants dans l'atmosphère.

BOOKS

Tatiana Oncescu, S. G. Ionescu, CONVERSIE FOTOCHIMICĂ ŞI STOCARE DE ENERGIE SOLARĂ/Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy, Editura Academiei R.S.R., Bucureşti, 1985, 272 p.

The photochemical conversion and storage of solar energy is one of the most modern and interesting features of its utilization. The exploring in this field was promoted by the decrease of fossil fuel deposits and by the prospect of a solar non pollutant and perhaps unexpensive technology.
The authors present here the newest results obtained in this field as well as their modest contribution.
Chapter I treats on the main problem of the photochemical conversion, namely the utilization of the quantum energy hv of solar radiation, prior to its degradation into heat. The elements of photochemistry indispensable for understanding this problem are also presented.
Chapter II deals with the important aspects of photochemical conversion and storage of solar energy by using organic photochromic systems and their applications in the artificial photosynthesis of some interesting small scale products.
Chapter III dwells on the natural photosynthesis as the most improved model of photochemical conversion and storage of solar energy.
Chapter IV presents the most explored abiotic systems able to convert the energy of the solar radiations into chemical one, particularly as hydrogen, the fuel of the future.
Chapter V analyses the photochemical conversion, especially in respect to the devices which use semiconductor electrodes. The concomitent conversion and storage capabilities of the photoelectrochemical cells (PEC) are stressed out.
Chapter VI concerns the major aspects of the construction, functioning and performances of the photogalvanic cells.
In Chapter VII are presented the newest data on the utilization of the luminescent solar concentrators (LSC) in photochemical and photo — electrical conversion, as potential competitors of classical mirrors or Fresnel lenses.
In conclusions one takes into account the prospect of a solar technology, e. g. H_2 photogeneration, justifying the financial support in the world for the scientific research in this field.

I. Iordănescu, Gh. Iacobescu, M. Tudose, M. Eremia, R. Ţenovici, C. Toader, R. Enache, C. Dumitriu, REŢELE ELECTRICE PENTRU ALIMENTAREA INTREPRINDERILOR INDUSTRIALE/Electrical Networks for Industrial Enterprises Power Supply, Editura Tehnică, Bucureşti, 1985, 431 p.

Each chapter of the book is devoted to a particular aspect of industrial electroenergetics.
Chapter 1 treats about the necessary power supply for inustrial users. Applications concerning the electrical estimations of voltage drop and adjustment, as well as the industrial network sizing are described in chapter 2.
Chapter 3 analyzes the electrical power wastes and the compensation of power coefficient.
Chapters 4 and 5 present the stabilized operating conditions and the use of the technical and economical calculus methodology both for indoor-and outdoor electrical networks.
Chapter 6 deals with the applications of short-circuit currents calculus, non-polarized treatment and unsymmetrical states, while chapter 7 includes applications of electrical network deformations.
Chapter 8 solves several problems connected to industrial electrical networks safety techniques.

M. Eremia, H. Crişciu, B. Ungureanu, C. Bulac, ANALIZA ASISTATĂ DE CALCULATOR A REGIMURILOR SISTEMELOR ELECTROENERGETICE/Computer Aided Analysis of the Electric Power Systems, Editura Tehnică, Bucureşti, 1985, 408 p.

This work deals at large with some of the main computation and analysis problems confronting the specialists in their activity of power system study, design and operation. The computation methods selected for the computer aided power system analysis were those prevailing on a worldwide scale.

The work is divided into four sections, as follows;

— Analysis of the normal operation conditions, describing the computation methods for the power flows, the representation of the external system by equivalents (Ward, REI-Dimo, ETI), contingency computations and specific computation techniques (sparse matrices and ordered eliminations);

— Analysis of the abnormal operation conditions, developing computation methods for the shortcircuit currents, for the steady state and transient stability-including the equivalent methods ;

— Optimization of power flows, presenting, the economic alloting of the active and reactive powers in the system, using, mathematical programming methods ;

— Real-time estimation of one system's steady state, on the basis of power flow, bulk power supply and node voltage measurements.

Generally, each method is dealt with in detail, by offering solving methods, computation algorithms (if necessary, logic diagrams) and examples representing applications on a simple or complex electric network. The detail level permits the persons interested to develop computer programs. Summary descriptions are also given for the main computer programs available in Romania.

The appendices present some concepts regarding the numeric integration of differential equations systems, linear and nonlinear programming, mathematical statistics as well as computations of the eigenvalues and eigenvectors ; such elements are necessary for understanding the text.

M. Marinescu, D. Ştefănescu, Al. Chisacof, O. Adler., INSTALAŢII DE ARDERE/ Combustion Equipments, Editura Tehnică, Bucureşti, 1985, 492 p.

The book describes small and middle combustion equipments together with ignition phenomena and characteristics such as : fuels, combustion outfits, heat transfer and pressure loss. Each chapter starts with a theoretical approach of combustion equipments design and optimization, then there are presented several representative numerical applications.

TEZE DE DOCTORAT SUSȚINUTE ÎN 1985—1986

Gabriel Bazacliu — Utilizarea calculatorului în conducerea sistemului electroenergetic. (29.V 1985) Conducător științific prof. dr. ing. Eugen Potolea

Mihai Mircea Virgiliu Exarhu — Mișcarea fluidelor în conducte curbe. (7.VI.1985) Conducător științific prof. dr. ing. Alexandru Diacon

Fănică Vatră — Contribuții la studiul supratensiunilor temporare datorate defectelor la pământ și a închiderii nesimultane a fazelor. (14.VI.1985) Conducător științific prof. dr. ing. Gleb Drăgan

Onoriu Liviu Marian — Contribuții privind optimizarea programării operative a producției în secțiile de scularie. (21.VI.1985) Conducător științific prof. dr. ing. Tudor Homoș

Ioan Rummel—Contribuții asupra posibilităților de conducere cu calculator electronic a unei turnătorii de tuburi din fontă cu grafit nodular turnate centrifugal, cu caracter de masă. (2.VII. 1985) Conducător științific prof. dr. ing. Tudor Homoș

Paul Bocănete — Contribuții la optimizarea acțiunilor de mentenanță în scopul creșterii disponibilității grupurilor termoenergetice de mare putere. (3.VII.1985) Conducător științific prof. dr. docent Vasile Nitu

Ioan Felea — Contribuții privind optimizarea nivelului de siguranță a consumatorilor industriali din domeniul industriei construcțiilor de mașini. (3.VII.1985) Conducătorul științific prof. dr. docent Vasile Nitu

Cristian Valeriu Buzea — Optimizarea nivelului de siguranță la proiectarea structurii rețelelor electrice. (3.VII. 1985) Conducător științific prof. dr. docent Vasile Nitu

Alexandru Itoafă — Caracterizarea prin indicatori a stării sistemelor electroenergetice. (10.IX. 1985) Conducător științifică dr. docent ing. Paul Dimo

Sorin Gelu Munteanu — Supratensiuni pe linii datorită loviturilor de trăsnet. (3.X.1985) Conducător științific prof. dr. ing. Gleb Drăgan.

Radu Petrică Enache — Contribuții privind comportarea izolației rețelelor de înaltă tensiune la solicitări de supratensiune care să reflecte solicitările reale din exploatare. (6.XI.1985) Conducător științific prof. dr. ing. Gleb Drăgan

Ioan Octav Sorin Hurdubețiu — Contribuții la studiul determinării cîmpurilor electrice în instalațiile electrice de înaltă tensiune. (15.I.1986) Conducător științific prof. dr. ing. Gleb Drăgan

Maria Ileana Băran—Contribuții la determinarea parametrilor trăsnetului și influența acestora asupra instalațiilor electroenergetice. (26.II.1986) Conducător științific prof. dr. ing. Gleb Drăgan

Khaled Mossa Tannous — Contribuții la calculul regimului permanent al sistemelor electroenergetice mari cu aplicații la sistemul electroenergetic din Siria. (12.III.1986) Conducător științific prof. dr. ing. Gheorghe Iacobescu

Neculai Liciu — Contribuții la optimizarea dezvoltării rețelelor electrice cu ajutorul metodelor cercetării operaționale. (2.VII.1886).

Anca Marina Marinov — Contribuții la studiul poluării apelor subterane. (2.VII. 1986) Conducător științific prof. dr. ing. Julieta Florea

Petru Bedros Nae — Contribuții la studiul mișcării în turbo-mașinile diagonale. (9.III. 1986) Conducător științific prof. dr. ing. Alexandru Diacon

RECOMANDĂRI PRIVIND CONȚINUTUL ȘI REDACTAREA MANUSCRISELOR

În vederea menținerii unui conținut corespunzător și pentru uniformizarea prezentării articolelor, la înaintarea acestora pentru publicare, autorii sînt rugați să țină seama de următoarele recomandări:

1. Lucrările să fie orginale și să aibă caracterul unor comunicări științifice. Se acceptă numai lucrări care nu au mai fost publicate, Nu se vor face demonstrații dezvoltate, ci se vor prezenta rezultatele și informațiile necesare în vederea aplcării acestora.

2. Se vor publica și lucrări din domeniile matematicii, fizicii și chimiei, cu deosebire dacă ele prezintă un interes deosebit pentru activitățile inginerești.

3. Manscrisul va fi dactilografiat pe coli format A4, la 2 rînduri, cu panglică neagră, pe o singură față a foii de hîrtie. Textul integral, inclusiv figurile, nu vor depăși 8—10 pagini.

4. Titlul, dactilografiat cu majuscule și subliniat, trebuie să fie cît mai scurt.

5. Sub titlu se scriu prenumele autorilor (inițiala; pentru autoare se va scrie prenumele întreg) și numele. Gradul didactic, titlul științific și instituția (pentru persoanele din institutul nostru se menționează numai catedra; cînd autorii lucrează la aceeași catedră sau instituție denumirea acesteia se scrie o singură dată) se scriu într-o notă de subsol pe prima pagină.

6. Articolul va fi precedat de un rezumat de 5—6 rînduri, în limba de redactare a lucrării, dactilografiat la $1^1/_2$ rînduri.

7. Din punct de vedere redacțional, prezentarea conținutului propriu-zis se face conform STAS 8660—70, folosindu-se exprimarea impersonală (persoana a 3-a). Textul va fi dactilografiat cît mai estetic fără să abunde în cuvinte despărțite. La început de aliniat se lasă un spațiu de 7 semne.

8. Titlul subcapitolelor se scrie cu majuscule și nesubliniat.

9. Formulele se scriu, pe cît posibil, la mașină; în rest, vor fi scrise de mînă, cu tuș negru, foarte citeț. Numerele pentru identificarea relațiilor matematice se scriu între paranteze rotunde, în partea dreaptă a paginii.

10. Tabelele vor avea titlu și vor fi numerotate în ordine.

11. Desenele se execută în tuș negru, pe hîrtie de calc, iar explicațiile se scriu cu șablonul. Legenda fiecărei figuri (dacă există) va fi prezentată într-un borderou de figuri, pe o foaie separată.

12. Bibliografia se scrie la sfîrșitul articolului, după capitolul de Concluzii, nu pe pagină separată, conform STAS 6158—70. Pentru prescurtarea titlurilor de publicații periodice se va consulta STAS 6074—74 și listele din revistele de referate. Citarea bibliografiei se face astfel: 1) pentru cărți: inițiala și numele autorilor, titlul, editura, orașul, anul; 2) pentru periodice: inițiala și numele autorilor, titlul articolului, titlul periodicului, numărul, anul.

13. După bibliografie se mai prezintă un rezumat, dactilografiat la $1^1/_2$ rînduri: într-o limbă străină (rusă, engleză, germană, franceză) — dacă lucrarea este redactată în limba română, respectiv în limba română — dacă lucrarea este redactată într-o limbă străină (rusă, engleză, germană, franceză). Rezumatul va fi precedat de titlul lucrării în limba de redactare a rezumatului.

14. La depunerea lucrării, autorii vor prezenta o declarație din care să reiasă că nu conține secrete de stat.

Lucrarea urmează să fie publicată după recomandarea acesteia de către 2 referenți desemnați de comitetul de redacție.

COMITETUL DE REDACȚIE

I. P. Informația c. 2507

40.480